

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Návrh a realizace autonomní jednotky pro měření teploty a
koncentrace výbušných plynů

Design and Implementation of Autonomous Unit for Temperature
and Concentration of Explosive Gas Measurement

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Miroslav Matýsek**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2601T004 Měřicí a řídicí technika
Téma: **Návrh a realizace autonomní jednotky pro měření teploty a koncentrace výbušných plynů**
Design and Implementation of Autonomous Unit for Temperature and Concentration of Explosive Gas Measurement

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše z oblasti dostupných telemetrických jednotek pro měření teploty a koncentrace výbušných plynů.
2. Analýza HW a SW prostředků pro autonomní jednotku.
3. HW a SW návrh jednotky včetně senzorického systému.
4. Realizace autonomní jednotky.
5. Ověření jednotky pro vybrané veličiny.
6. Zhodnocení výsledků a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vyd. Praha: BEN-technická literatura, 2004. 199 s. ISBN 80-7300-114-4.
- [2] KREIDL, Marcel. *Měření teploty, senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN-technická literatura, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [3] CARR, Joseph J. *Elements of Electronic Instrumentation and Measurement*. 3rd ed. Upper Saddle River(USA): Prentice Hall, 1995. 594 s. ISBN 0-13-341686-0.
4. Firemní literatura Figaro USA Inc.
5. Firemní literatura Atmel.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radovan Hájoský, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal a nejsou mi znány žádné okolnosti, které by mohly vést k pochybnostem o mojí práci.



.....

Bc.Miroslav Matýsek

Datum odevzdání diplomové práce: 7. 5. 2014

Poděkování

Chtěl bych touto cestou velmi poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Radovanu Hájovskému, Ph.D. za veškeré poskytnuté materiály, cenné rady a konzultace, které mi v průběhu tvorby celé práce ochotně poskytl.

Abstrakt

Tématem diplomové práce je návrh a realizace autonomní měřicí jednotky pro měření teploty a koncentrace výbušných plynů. V teoretickém rozboru je popsána problematika měření koncentrací výbušných plynů včetně definování mezí výbušnosti vybraných plynů. V závěrečné části teoretického rozboru jsou zmíněny způsoby měření teploty a senzory, kterými lze měřit teplotu a koncentrace plynů.

Následně je navrženo obecné řešení pro vytvoření autonomní jednotky, která bude měřit teplotu a koncentraci metanu. Mimo měření koncentrace metanu v ovzduší, bude jednotka také měřit množství oxidu uhelnatého.

V další části diplomové práce je podrobně popsán návrh měřicí jednotky. Zde jsou podrobně rozebrány použité komponenty včetně způsobu jejich komunikace s ostatními perifériemi. Součástí popisu jednotlivých komponent je také stručný popis vybraných částí softwaru, který zajišťuje komunikaci mezi jednotlivými komponentami. Následuje popis výsledné konstrukce a způsob kalibrace jednotlivých senzorů. V závěru je provedeno ověření funkčnosti měřicí jednotky včetně grafického znázornění naměřených hodnot.

Klíčová slova

koncentrace plynu, autonomní měřicí jednotka, měření teploty, měření koncentrace metanu, měření koncentrace oxidu uhelnatého, TGS2611, TGS2442

Abstract

The theme of the thesis is the design and implementation of autonomous measuring unit for measuring the temperature and concentration of explosive gases. The theoretical analysis is discussed the issue of measuring the concentration of explosive gases, including the definition of explosion limits of selected gases. In the final part of the theoretical analysis are discussed methods of temperature measurement sensors that can measure temperature and gas concentration. Subsequently, the suggested solution for creating an autonomous unit, which will measure the temperature and the concentration of methane. Apart from measuring the concentration of methane in the atmosphere, the unit will also measure the amount of carbon monoxide. In the next part of the thesis is detailed proposal measurement units. These are discussed in detail the components used, including the way they communicate with other peripherals. Part of the description of the individual components is a brief description of selected parts of the software that provides communication between components. The following is a description of the resulting structure and method of calibration of individual sensors. In conclusion the verification of the functionality of the measuring unit including a graphical representation of measured values.

Keywords

gas concentration, autonomous unit of measurement, temperature measurement, measurement of the concentration of methane, measurement of the concentration of carbon monoxide, TGS2611, TGS2442

Seznam použitých zkratek:

CH ₄	sumární vzorec pro metan – netoxický plyn, bezbarvý a bez zápachu.
CO	sumární vzorec pro oxid uhelnatý – bezbarvý jedovatý plyn bez chuti a zápachu.
DPS	deska plošných spojů.
HW	hardware – označuje veškeré fyzicky existující technické vybavení počítače.
LEL	lower explosive limit (spodní mez výbušnosti) – je hodnota koncentrace plynu ve vzduchu, kdy tato směs začíná hořet.
MCU	jednočipový počítač (z angl.. microcontroller); většinou se jedná o integrovaný obvod, který obsahuje procesor, RAM, ROM, I/O rozhraní a mnohdy i další periférie.
ppm	parts per million (částic na milión) – touto zkratkou se vyjadřuje množství jedné látky v jiné látce.
RTC	real time clock – (hodiny reálného času) jedná se většinou o integrovaný obvod, který udržuje údaje o aktuálním čase.
SW	software – jedná se o veškeré programové vybavení.
UEL	upper explosive limit (horní mez výbušnosti) – je hodnota koncentrace plynu ve vzduchu, kdy tato směs přestává hořet.

Obsah

1	Úvod	1
2	Rešerše telemetrických jednotek.....	2
3	Metody měření teploty a koncentrace plynů.....	5
3.1	Měření teploty	5
3.2	Měření koncentrace plynů.....	6
4	Analýza HW a SW prostředků pro autonomní jednotku	8
4.1	HW prostředky.....	8
4.1.1	Zdroj energie.....	8
4.1.2	Mikrokontrolér.....	8
4.1.3	Datová uložení.....	8
4.1.4	Obvod reálného času	10
4.1.5	Zobrazovací jednotka	10
4.1.6	Senzory	11
4.2	SW prostředky	13
5	Návrh jednotky	15
5.1	HW návrh.....	15
5.1.1	Blokové schéma.....	16
5.1.2	Popis jednotlivých částí	16
5.2	SW návrh	41
6	Realizace jednotky	43
7	Kalibrace, testování jednotky	48
7.1	Kalibrace	48
7.1.1	Kalibrace TGS2442	48
7.1.2	Kalibrace TGS2611	49
7.2	Testování.....	50
8	Zhodnocení, závěr.....	52
9	Seznam použité literatury	53

Seznam obrázků

Obr.1 – paměť DDR3	9
Obr.2 - adaptér z SD na microSD paměťovou kartu	9
Obr.3 - LED displeje	11
Obr.4 - LCD displej	11
Obr.5 - vývojový program EAGLE	15
Obr.6 - blokové schéma měřící jednotky	16
Obr.7 - svorkovnice pro připojení napájení s ochrannou diodou	16
Obr.8 - měření napájecího napětí baterie	17
Obr.9 – zapojení stabilizátoru napětí LM1117MP-5.0	17
Obr.10 - LCD display ATM2004D-FLY-YBW	18
Obr.11 - blokové schéma ATM2004D	18
Obr.12 - zapojení konektoru SV1	18
Obr.13 - čísla vývodů LCD	19
Obr.14 - HW ovládací prvky LCD	19
Obr.15 - teplotní čidlo DS18B20; zdroj [9]	20
Obr.16 - blokové schéma obvodu DS18B20; zdroj [9]	20
Obr.17 - připojení DS18B20 pomocí dvou vodičů; zdroj [9]	20
Obr.18 - připojení DS18B20 pomocí tří vodičů; zdroj [9]	20
Obr.19 - umístění konektoru SV8	21
Obr.20 - zapojení konektoru SV8	21
Obr.21 – zapojení stabilizátoru LM1117MP-3.3	22
Obr.22 - zapojení konektoru SV2	22
Obr.23 - schéma zapojení modulu SD karty	22
Obr.24 - modul SD karty	23
Obr.25 - struktura csv souboru	23
Obr.26 - senzor FIGARO TGS2442	24
Obr.27 - struktura senzoru TGS2442; zdroj [13]	24
Obr.28 - cyklus měření TGS2442; zdroj [14]	25
Obr.29 - jednoduchý měřicí obvod s TGS2442	25
Obr.30 - výpočet koeficientů rovnice v prostředí MATLAB	26
Obr.31 - závislost odporu R_s na koncentraci CO; zdroj [13]	27
Obr.32 - napojení senzoru TGS2442	28
Obr.33 - SV5 - popis vývodů	28
Obr.34 - senzor FIGARO TGS2611	28
Obr.35 - struktura senzoru TGS2611; zdroj [14]	29
Obr.36 – závislost odporu R_s na koncentraci metanu; zdroj [17]	30
Obr.37 - napojení senzoru TGS2611	30
Obr.38 - SV6 - popis vývodů	30
Obr.39 - Obvod PCF8563T včetně popisu vývodů; zdroj [18]	31
Obr.40 - Blokové schéma PCF8563; zdroj [18]	31
Obr.41 - Rozsah napájecího napětí; zdroj [18]	31
Obr.42 - Určení adresy RTC pro čtení/zápis; zdroj [18]	32
Obr.43 - připojení PCF8563 k měřící jednotce	33
Obr.44 - obvod AT24c512	33
Obr.45 - blokové schéma AT24c512; zdroj [19]	34
Obr.46 - určení adresy EEPROM; zdroj [19]	34
Obr.47 - zápis jednoho byte do EEPROM	34

Obr.48 - sekvenční zápis dat do EEPROM	35
Obr.49 - čtení jednoho byte z EEPROM	35
Obr.50 - sekvenční čtení dat z EEPROM	36
Obr.51 - popis pinů paměti AT24C512; zdroj [19]	36
Obr.52 - připojení EEPROM k měřicí jednotce	36
Obr.53 - blokové schéma ATMEGA64; zdroj [20]	37
Obr.54 - způsob propojení obvodů na SPI; zdroj [22]	38
Obr.55 - způsob propojení obvodů na I ² C sběrnici	38
Obr.56 - JTAG rozhraní měřicí jednotky	39
Obr.57 – AVR JTAGICE3 programátor	39
Obr.58 - rozhraní RS232	40
Obr.59 - klávesnice	40
Obr.60 - modul KEY1	40
Obr.61 - vývojové prostředí Atmel Studio	41
Obr.62 - struktura programu	41
Obr.63 – základní deska měřicí jednotky	43
Obr.64 - hotová měřicí jednotka	43
Obr.65 - vnitřní část měřicí jednotky	44
Obr.66 - struktura položek v menu měřicí jednotky	44
Obr.67 - hlavní menu	45
Obr.68 - menu měření	45
Obr.69 - menu nastavení	46
Obr.70 - nastavení intervalu měření	46
Obr.71 - nastavení datum/čas	46
Obr.72 - menu pro přenos dat z EEPROM	47
Obr.73 - menu kalibrace	47
Obr.74 - kalibrace TGS2442	48
Obr.75 – kalibrace TGS2611	49
Obr.76 - simulační program ISIS Proteus	50
Obr.77 - graf naměřených hodnot v době testování jednotky	51

Seznam tabulek

Tab.1 - meze výbušnosti vybraných plynů ve směsi se vzduchem	7
Tab.2 - přehled paměťových karet; zdroj [3]	10
Tab.3 - PCF8563 adresy a jména registrů; zdroj [18]	32
Tab.4 - popis funkcí pinů paměti AT24C512; zdroj [19]	36

1 Úvod

Již od samých počátků, kdy staří alchymisté prováděli svá bádání, často naráželi na problém s náhlým vzplanutím (výbuchem) různých plynů a par. Z počátku proto využívali některá zvířata, například kanárky pro zjišťování vysokých koncentrací oxidu uhelnatého, případně plamen v kahanu pro detekci kyslíku. S příchodem vědecko-technické revoluce vyvstala potřeba zdokonalit způsoby detekce těchto nebezpečných plynů. Jedny z prvních detektorů výskytu metanu a oxidu uhličitého se začaly používat při těžbě a zpracování uhlí, a později také při těžbě, dopravě a zpracování ropy a zemního plynu.

V této práci je proveden návrh, realizace a kalibrace autonomní měřicí jednotky. Tato jednotka bude měřit množství metanu v ovzduší. Dalším plynem, který bude měřen, je oxid uhelnatý, i když se nejedná o výbušný plyn. Poslední měřenou veličinou je teplota ovzduší.

První kapitola práce shrnuje měřicí jednotky, které jsou v současné době dostupné na trhu s těmito zařízeními.

Druhá kapitola je zaměřená na metody měření koncentrací plynů a způsoby měření teploty.

Ve třetí kapitole je provedena analýza hardwarových a softwarových prostředků pro návrh autonomní jednotky.

Čtvrtá kapitola se zabývá popisem vybraných komponent použitých v autonomní jednotce.

V páté kapitole je popsán samotný návrh jak hardwarové, tak i softwarové části měřicí jednotky.

Šestá kapitola shrnuje, jakým způsobem byla autonomní jednotka sestavena.

Sedmá kapitola popisuje, jakým způsobem byla provedena kalibrace a testování funkčnosti jednotky.

Osmá kapitola obsahuje zhodnocení dosažených výsledků a závěr této práce.

2 Rešerše telemetrických jednotek

Měřicí jednotky užívané k detekci nebezpečných plynů a par je aktuálně na trhu nepřeberné množství. V této kapitole je určitý souhrn přenosných měřicích jednotek, které jsou využívány k detekci a měření výbušných plynů. Mnohé z těchto jednotek však umí detekovat také jiné plyny.

Detektor GD51

GD51 je jednoduchý přenosný přístroj určený pouze pro detekci hořlavých plynů - především metanu a propan-butanu. Jeho hlavními přednostmi jsou snadná obsluha, jednoduché použití, malé rozměry a velká mechanická odolnost. Tělo přístroje je vyrobeno z duralové slitiny. Jako detekční snímač využívá citlivé žhavené polovodičové čidlo. Detekovaná koncentrace je signalizována pomocí sloupce svítivých LED a překročení nastavené meze je oznámeno akusticky. GD51 má pevně vestavěné akumulátory, které se dobíjejí pomocí externího síťového adaptéru.



Hlavní využití najde přístroj při zajišťování občasných periodických kontrol plynových zařízení např. u obsluhy kotlen a dalších odběrných zařízení. Maximální detekovaná hodnota u metanu je 50% LEL.

Detektor GD500

Jedná se o přenosný detektor patřící do kategorie moderních profesionálních servisních přístrojů. Je určen především pro zjišťování zdrojů úniku plynu. K tomuto přístroji lze také připojit různé sondy, například pro měření teploty nebo tlaku plynu. Údaje jsou zobrazovány na displeji a jejich překročení je oznámeno akustickým signálem. Jednoduché nastavování předvoleb je řešeno pomocí menu podobně jako u mobilního telefonu. Měřená data lze ukládat do paměti přístroje k pozdějšímu vytisknutí nebo přenesení do osobního počítače. Napájení přístroje je zajištěno vnitřními akumulátory nebo pomocí externího síťového adaptéru. Variabilitnost přístroje umožňuje vytváření různorodých sestav. Přístroj a sondy jsou dodávány v pevném plastovém kufříku.



Přehled sond, které lze připojit k tomuto přístroji:

- AS01 – analyzátorová sonda sloužící pro nastavení „turbo“ kotlů. Pomocí vestavěných čidel měří obsah kyslíku, oxidu uhelnatého a teplotu ve spalínách
- PS50 – sonda pro detekci výbušných plynů
- PS51 – nízkopříkonová sonda pro detekci výbušných plynů. V rozpoznání úniku plynu se shoduje se sondou PS50. Její výhodou je asi 3x delší provoz na 1 nabití akumulátorů GD500 než při použití PS50. Koncovka čidla umožňuje částečné natočení do směru požadované detekce.
- PS56 – sonda pro detekci CO v ovzduší
- T205 – sonda pro měření teploty
- TS02 – sonda pro měření velmi nízkých tlaků
- TS15, TS75, TS250 – sondy pro měření tlaku; liší se tlakovým rozsahem

OLDHAM MX2100

Jedná se o více plynový detektor. Přístroj MX 2100 je vybavený senzorem zkonstruovaným specificky pro měření nejběžnějších výbušných plynů na stupnici od 0 do 100% LEL. Vedle toho má jednotka MX2100 také knihovnu 32 předprogramovaných plynů využitelnou pro měření vyhrazeného plynu. Díky možnosti vyměnit sensorové jednotky bez nutnosti seřízení si může uživatel vybrat mezi širokým spektrem senzorů a používat 4 z nich. Doba provozu detektoru je až 14 hodin (s čerpadlem 8). Detektor dokáže zaznamenávat naměřená data do vnitřní paměti.



OLDHAM IBRID MX6

Jedním z nejmodernějších plynových detektorů je přístroj MX6, který představuje zcela novou generaci plynových detektorů firmy OLDHAM. Jedná se o víceplynový detektor. MX6 je univerzálně použitelný přístroj vybavený širokou škálou senzorů, technicky na nejvyšší úrovni, ale přesto velmi snadno ovladatelný, se zaručenou dlouhou dobou životnosti. Detektor zřetelně zobrazuje naměřené hodnoty v reálném čase (v PPM nebo % objemu). U každého senzoru je zobrazen průběh a výsledky kalibrace. V případě potřeby je u každého senzoru zobrazeno varování o povinnosti provedení kalibrace. Tento detektor může monitorovat až 6 různých plynů.



OLDHAM MULTIGUARD BM25

Detektor BM25 dokáže prostřednictvím difuze nebo odběru vzorků detekovat jeden až pět plynů a nabízí výhody stacionárního monitorovacího systému ve snadno přenosném, přesto velmi odolném přístroji. Pro detektor BM25 je k dispozici 17 vyměnitelných inteligentních senzorů, díky kterým se systém snadno přizpůsobí různým druhům použití a odvětvím. Když detektor BM25 zjistí nebezpečnou koncentraci kyslíku či toxického nebo výbušného plynu, výstražné světlo na vrcholu přístroje začne jasně blikat do všech směrů a přístroj vydává hlasitý alarm. Přístroj BM25 lze použít jako samostatný detektor nebo zapojit tak, aby výstražné signály byly přenášeny z jedné jednotky na druhou. Při takové instalaci můžete kolem detekovaného atmosférického nebezpečí vytvořit ochrannou linii nebo přenášet ručně vyvolaný nouzový signál po rozlehlé oblasti.



DRÄGER X-am 7000

Dräger X-am 7000 je inovativně řešený přístroj pro současné kontinuální sledování koncentrace až pěti druhů plynů. Ke splnění individuálních požadavků detekce je k dispozici více než 25 různých druhů senzorů. Může být vybaven třemi elektrochemickými senzory a dvěma katalytickými nebo infračervenými optickými senzory. Měřicí rozsah i druh měřeného plynu může být u senzorů za provozu měněn pouhým výběrem ze seznamu bez nutnosti nové kalibrace. Zcela nová konstrukce akumulátorových baterií s inteligentním řízením nabíjení garantuje dlouhou životnost a provozní dobu až 20 hod. Senzory pro X-am 7000 mají typickou dobu života i více než 5 let.



DRÄGER X-am 5600

Moderní víceplynový měřicí a varovný přístroj s technologií infra-červených senzorů. DRÄGER X-am 5600 je nejmenší přístroj pro současné měření až 6 druhů plynů. Je ideálním řešením pro osobní přesné a spolehlivé měření koncentrací hořlavých a toxických plynů, i koncentrace kyslíku v pracovním prostředí. DRÄGER X-am 5600 je malý, lehký, robustní a vodotěsný přístroj, který je konstruován pro použití v nejobtížnějších průmyslových podmínkách. Přístroj je vybaven dataloggerem, který zaznamenává průběh měření ve formě časového záznamu měřených hodnot s volitelnou frekvencí ukládání událostí, které během měření nastaly. Zaznamenané údaje lze z dataloggeru přenést do PC.



MSA AUER-ORION plus

Přístroj je schopen měření až pěti druhů plynů. Čerpadlo přístroje neustále nasává kontrolované ovzduší. Jedná se o poměrně těžký přístroj, jehož váha je 720 gramů. Doba provozu je až 10 hodin. Naměřené hodnoty lze z paměti přenést do PC.



Signál 5

Přenosný detektor Signal-5 je určen pro nepřetržitou automatickou kontrolu a měření metanu v důlním ovzduší v rozsahu 0-100% objemového množství metanu. Při dosažení povolené maximální koncentrace metanu světelně a zvukově signalizuje.



M40

Univerzální víceplynový detektor schopný detekce CO, H₂S, O₂ a výbušných plynů, použitelný pro širokou škálu nebezpečných a prostorově omezených aplikací. Detektor může být v provozu až 18 hodin. Vnitřní paměť pojme až 75 hodin záznamu z měření.



3 Metody měření teploty a koncentrace plynů

3.1 Měření teploty

„Teplota je stavová veličina určující stav termodynamické rovnováhy tj. stav, kdy v izolované soustavě těles od okolního prostředí neprobíhají žádné makroskopické změny a všechny fyzikální veličiny, jimiž je stav soustavy popsán nezávisí na čase. Stav termodynamické rovnováhy bývá charakterizován termodynamickou teplotou, která musí být stejná pro všechny části izolované soustavy. Fyzikální veličina teplota se nesmí zaměňovat za fyzikální veličinu teplo, neboť teplo je forma energie související s pohybem částic dané soustavy těles, ale není stavovou veličinou, neboť nezávisí na přítomném stavu soustavy, ale na celé minulosti vývoje této soustavy. Teplota je jedna z mála veličin, která se nedá měřit přímo, ale pouze prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Měření teploty je tedy měření nepřímé.“ [1]

Proto je k měření teploty použito senzorů teploty. Senzor teploty je funkční prvek, který tvoří vstupní blok měřicího řetězce. Jde o prvek, jenž je v přímém kontaktu s prostředím, v němž měříme teplotu. Jedná se v podstatě o část teploměru, která převádí teplotu na jinou fyzikální veličinu.

Měření teploty pomocí senzorů můžeme rozdělit podle styku senzoru s okolním prostředím:

- na dotykové (okolní prostředí přímo působí na senzor)
- na bezdotykové (okolní prostředí nepřímo působí na senzor)

Teploměry lze rozdělit podle principu, na jakém pracují:

- 1) odporové – principem odporových teploměrů je závislost odporu materiálu senzoru na teplotě.
- 2) polovodičové s PN přechodem – tyto senzory jsou založeny na teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru.
 - a) diodové PN senzory teploty
 - b) tranzistorové PN senzory teploty
 - c) monolitické PN senzory teploty
- 3) dilatační – tyto teploměry využívají teplotní roztažnosti pevných látek, kapalin a plynů.
 - a) bimetalické teploměry
 - b) bimateriálová čidla
 - c) tyčové teploměry
 - d) skleněné teploměry
 - e) kapalinové tlakové teploměry
 - f) parní tlakové teploměry
 - g) plynové tlakové teploměry
- 4) termoelektrické – senzory využívají Seebeckova jevu, tozn. převodu tepelné energie na elektrickou.

- 5) speciální dotykové
 - a) magnetické teploměry
 - b) optické vláknové senzory
 - c) akustické
 - d) šumové teploměry
 - e) krystalové teploměry

- 6) indikátory teploty – slouží k přibližnému stanovení teploty těles. Teplota tělesa je stanovena na základě znalosti kritické teploty, při které nastává definovaná změna vzhledu indikátoru (tvar nebo barva).
 - a) keramické žároměrky
 - b) barevné indikátory teploty
 - c) tavné indikátory teploty

3.2 Měření koncentrace plynů

V současné době je na trhu nepřeberné množství různých zařízení pro detekci a měření koncentrací plynů. Tato zařízení se od sebe liší nejen velikostí a typem detekovaného plynu, ale také provedením a dalšími funkcemi. Rozdělení přístrojů pro měření koncentrací plynů jsou definovány v [2].

Rozdělení přístrojů dle typu (ČSN EN 60079-29-2):

- Stabilní zařízení: jedná se o zařízení, která jsou trvale instalována.
- Přemístitelná zařízení: jsou to taková zařízení, která nejsou přenosná, ale můžeme je snadno přemístit.
- Přenosná zařízení: tyto přístroje jsou navrženy tak, aby se daly snadno přenášet z místa na místo a mohly být v provozu i během přenášení.

Základní pojmy

Detekce plynů je proces, při kterém se zjišťuje množství určitého plynu v daném prostředí. Tento proces je prováděn dvěma typy přístrojů:

- Detektory plynů - jedná se o zařízení, která detekují, měří, nebo hlídají úroveň určitého plynu. Detektory plynů velmi často reagují i na jiné plyny, než ty, na které nejsou přímo cejchovány. Tato vlastnost je vždy uvedena v dokumentaci.
- Analyzátoři plynů - tyto přístroje provádějí rozbor určité plynné směsi. Analyzátoři jsou podstatně složitější a také dražší než detektory plynů.

Množství plynu obsaženého ve směsi je uváděno v mg/m^3 , případně v procentech. Mnohem častěji používanou jednotkou je ppm. Je-li měřena koncentrace výbušných plynů, pak se často užívá pojem SMV(LEL) a HMV(UEL).

Výbušná směs je taková směs plynu a vzduchu, která po překročení zápalné teploty hoří.

Spodní mez výbušnosti SMV(Lower Explosive Limit) je taková hodnota koncentrace plynu ve směsi, kdy se stává tato směs hořlavou. Tato hodnota má velký význam při sledování daného prostředí (např. plynové kotelny) z hlediska zajištění proti výbuchu. Detektory určené pro kontrolu prostředí z hlediska výbuchu mívají většinou nastavený rozsah měření v rozmezí 0-10% SMV, nebo 0-100% SMV.

Horní mez výbušnosti HMV(Upper Explosive Limit) je taková hodnota koncentrace plynu ve směsi, kdy již tato směs přestává hořet.

	metan	propan	vodík
horní mez výbušnosti	15%	9,5%	75%
dolní mez výbušnosti	5%	2,1%	4%

Tab.1 - meze výbušnosti vybraných plynů ve směsi se vzduchem

Mezi nejčastěji používané principy detekce plynů patří:

- optické metody
- fyzikální metody
- fyzikálněchemické metody
- chemické metody
- elektroanalytické metody
- separační metody

Popis nejčastěji používaných snímačů určených pro detekci plynů je podrobněji popsán v kapitole 4.1.6.

4 Analýza HW a SW prostředků pro autonomní jednotku

V této kapitole jsou probrány možnosti jednotlivých částí měřicí jednotky. Jsou zde obecně popsány prostředky, pomocí nichž bude jednotka navržena a posléze také sestrojena.

4.1 HW prostředky

4.1.1 Zdroj energie

Napájecí část měřicí jednotky je její nedílnou součástí. Vzhledem k tomu, že jednotka bude využívat elektroniku, proto je třeba tuto jednotku napájet elektrickou energií. Elektrickou energii lze získat z několika zdrojů.

- napájení z rozvodné sítě – výhodou tohoto způsobu je stálost napájení, kdežto velkou nevýhodou je nutnost být v dosahu elektrické sítě.
- napájení z obnovitelných zdrojů elektrické energie – pro napájení jednotky je zřejmě nejvhodnější využití fotovoltaických panelů. Výhodou tohoto způsobu napájení je možnost umístění jednotky kdekoli je to třeba. Nevýhodou je závislost na slunečním záření.
- napájení z baterie – stejně jako v předchozím případě spočívá výhoda tohoto způsobu napájení v možnosti umístit jednotku i na odlehle místo. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost zajistit výměnu vybitých baterií.

V mnoha případech bývá použito kombinace fotovoltaického panelu a akumulátoru a tím se eliminují nevýhody jednotlivých řešení.

4.1.2 Mikrokontrolér

Z důvodu digitalizace naměřených hodnot pro pozdější zpracování, je nutno použít mikroprocesor nebo mikrokontrolér. Mikrokontroléry využívá mnoho zařízení pro jejich všestranné využití. Obrovskou výhodou těchto obvodů je implementace různých periférií. Díky této implementaci odpadá množství součástek a obvodů, kterých by muselo být v případě mikroprocesorů nutno použít. Takto je třeba jen několika součástek k tomu, aby bylo možno vytvořit funkční celek. Mikrokontroléry lze poměrně snadno naprogramovat, přesto však nejsou primárně určeny k tomu, aby prováděly složité výpočty. Aktuálně lze využít mikrokontroléry, které lze označit jako 8,16 nebo 32 bitové, které mají vnitřní paměť v řádech několika byte až po Mbyte. Také rozsah taktovacích kmitočtů je poměrně velký, a sice od několika jednotek MHz až po jednotky GHz.

Vzhledem k tomu, že řídicí obvody nebudou zatěžovány náročnými výpočty a zpracováním většího objemu dat, je zde předpoklad, že bude dostačující 8bitový mikrokontrolér.

4.1.3 Datová uložení

Pokud jednotka naměřené a zpracované hodnoty jen nezobrazuje, pak je třeba tyto data určitým způsobem uchovávat. Za tímto účelem je možno využít různých datových uložení. Tato datová uložení (paměti) lze rozdělit do dvou základních skupin:

- paměti vyžadující permanentní napájení k udržení uložené informace
- paměti nevyžadující permanentní napájení k udržení uložené informace

První typ paměti sice vyžaduje neustálé napájení (tzn., že v případě výpadku napájení jsou všechny data ztracena), ale na druhou stranu je rychlost zápisu a čtení dat z této paměti mnohonásobně

rychlejší než u pamětí schopných uchovávat data i v případě výpadku napájení. Tento typ paměti je nejčastěji využíván ve výpočetní technice pro uložení programu, nejčastěji operačního systému. Stejně jako počítače, tak i MCU využívají tento typ paměti, avšak v mnohem menší míře (velikosti).



Obr.1 – paměť DDR3

Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, druhý typ paměti nevyžaduje k udržení informace stálé napájení. To je také důvod, proč je využíván k přenosu a ukládání různých dat. Pro ukládání dat z měřicí jednotky je nejvhodnější použití EPROM/EEPROM nebo flash paměti. Flash paměti jsou nejčastěji používány v různých paměťových kartách, případně flash-discích. V současnosti jsou na trhu s těmito výměnnými médii nejrozšířenější čtyři typy:

- SD/microSD – secure digital
- MMC – multimedia card
- CF – compact flash
- MS – memory stick

Dalo by se říci, že paměťové karty typu SD/microSD získávají dominantní postavení na trhu s paměťovými kartami. To je také důvod, proč je stále více zařízení využívajících tyto paměťové karty. A právě proto je užití paměťové karty v měřicí jednotce pro ukládání naměřených hodnot téměř nezbytností.



Obr.2 - adaptér z SD na microSD paměťovou kartu.

V tabulce Tab.2 je přehled používaných paměťových karet včetně označení a velikosti karty.

Jméno	Zkratka	Form factor	DRM
PC Card	PCMCIA	85,6 × 54 × 3,3 mm	Ne
CompactFlash I	CF-I	43 × 36 × 3,3 mm	Ne
CompactFlash II	CF-II	43 × 36 × 5,5 mm	Ne
SmartMedia	SM / SMC	45 × 37 × 0,76 mm	Ne
Memory Stick	MS	50 × 21,5 × 2,8 mm	MagicGate
Memory Stick Duo	MSD	31 × 20 × 1,6 mm	MagicGate
Memory Stick PRO Duo	MSPD	31 × 20 × 1,6 mm	MagicGate
Memory Stick PRO-HG Duo	MSPDX	31 × 20 × 1,6 mm	MagicGate
Memory Stick Micro M2	M2	15 × 12,5 × 1,2 mm	MagicGate
Multimedia Card	MMC	32 × 24 × 1,5 mm	Ne
Reduced Size Multimedia Card	RS-MMC	16 × 24 × 1,5 mm	Ne
MMCmicro Card	MMCMicro	12 × 14 × 1,1 mm	Ne
Secure Digital	SD	32 × 24 × 2,1 mm	CPRM
miniSD	miniSD	21,5 × 20 × 1,4 mm	CPRM
microSD	microSD	11 × 15 × 1 mm	CPRM
Secure Digital High Capacity	SDHC	32 × 24 × 2,1 mm	CPRM
microSDHC	microSDHC	11 × 15 × 1 mm	CPRM
xD-Picture Card	xD	20 × 25 × 1,7 mm	Ne
Intelligent Stick	iStick	24 × 18 × 2,8 mm	Ne
Serial Flash Module	SFM	45 × 15 × ? mm	Ne
μ card	μcard	32 × 24 × 1 mm	Neznáme
NT Card	NT NT+	44 × 24 × 2,5 mm	Ne

Tab.2 - přehled paměťových karet; zdroj [3]

4.1.4 Obvod reálného času

Pokud nejsou naměřená data průběžně zobrazována, pak je vhodné, přidat k těmto datům také údaj o tom, kdy byla zaznamenána. Z tohoto důvodu je vhodné použít hodiny reálného času (RTC). Takovéto hodiny můžou být:

- softwarové
- hardwarové

Každé z těchto dvou řešení má své výhody i nevýhody. Použijí-li se softwarové hodiny, tak již není třeba do zařízení přidávat další obvod. K tomu, aby hodiny běžely, je využívána periférie *Timer*, kterou mají všechny současné mikrokontroléry implementovanou. Nevýhodou tohoto řešení je, že se ztrátou napájecího napětí, tyto hodiny přestanou pracovat a údaj o čase je ztracen. Další nevýhodou tohoto řešení je, že přesnost takovýchto hodin je závislá od toho, s jakou přesností použitý mikrokontrolér pracuje – tzn. s jakou odchylku pracuje použitý oscilátor. Naproti tomu hardwarové hodiny reálného času jsou umístěny většinou vně MCU. Tento obvod je navržen tak, aby měl velmi nízkou spotřebu, což jej předurčuje k tomu, aby bylo jeho napájení zálohováno z nějaké přídavné baterie, a tím bylo zajištěno, že se údaje o čase uchovají i v době, kdy bude zařízení vypnuto. Tyto obvody komunikují se svým okolím převážně pomocí sériové sběrnice (např. SPI, I²C..). Na Obr.39 je zobrazen RTC obvod, který komunikuje se svým okolím pomocí I²C sběrnice.

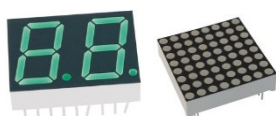
4.1.5 Zobrazovací jednotka

K tomu, aby měl uživatel měřicí jednotky možnost zobrazit naměřená data, případně komunikovat s touto jednotkou bez užití například notebooku, je třeba použít zobrazovací jednotku. K tomuto účelu je možno použít ukazatel složený z několika LED diod. Tento způsob indikace naměřených

hodnot je vhodný v tom případě, kdy nepotřebujeme znát konkrétní naměřené hodnoty koncentrací. Mnohem vhodnějším způsobem zobrazování naměřených hodnot je pomocí nějaké zobrazovací jednotky. Pomineme-li zobrazovací jednotky jako jsou například CRT obrazovky, případně digitrony, pak je můžeme rozdělit na:

- a) zobrazovací jednotky bez řadiče
- b) zobrazovací jednotky s vlastním řadičem

První skupinu tvoří LED a monochromatické LCD displeje. Tento druh zobrazovacích jednotek je tvořen jednotlivými segmenty ze světlo emitujících diod. I tento typ displejů lze rozdělit do dvou skupin. První skupinu tvoří displeje sestavené z jednotlivých segmentů (první část Obr.3). Na těchto jednotkách lze zobrazit jen omezené množství znaků. Druhá skupina LED displejů dovoluje uživateli zobrazit různé znaky, ale pouze v rámci zobrazovací matice (druhá část Obr.3).



Obr.3 - LED displeje

LCD displeje mají podobně jako LED displeje nastaveny pixely/segmenty „napevno“ (typicky digitální hodinky), nebo podobně jako maticový LED displej je schopen zobrazit určité množství pixelů v různých kombinacích. Tyto displeje ovšem pracují na jiném principu. Zobrazení pixelu/segmentu spočívá v tom, že je před zdrojem světla umístěn segment, který vyzařované světlo buď pohlcuje, nebo propouští (řečeno velmi zjednodušeně).



Obr.4 - LCD displej

Mnohem rozšířenější skupinou zobrazovacích jednotek je ta, která má od výrobce implementován vlastní řadič. Řadič zprostředkovává komunikaci mezi externím řídicím obvodem a vlastní zobrazovací jednotkou. K této komunikaci již není třeba takové množství spojů mezi displejem a řídicím obvodem, kterých by v případě grafických displejů, bylo obrovské množství. Výhoda řadiče spočívá také v tom, že lze zadat příkaz a řadič se již „postará“ o jeho provedení (například vymaže celý displej). Z tohoto důvodu je většinou výhodnější využít displeje s vlastním řadičem.

4.1.6 Senzory

Pro detekci a měření koncentrace výbušných plynů je v současné době využíváno mnoho snímačů, které pracují na různých principech. Každá metoda měření má své přednosti, ale bohužel i své omezení. Tyto omezení lze částečně eliminovat využitím více snímačů založených na různých principech.

V kapitole 3.2 jsou zmíněny základní principy, pomocí nichž je prováděna detekce, případně měření koncentrace plynů. V následující části je popsáno několik nejčastěji používaných principů, na kterých jsou založeny různé snímače.

- infračervené snímače bodové – tyto snímače využívají toho, že mnoho plynů absorbuje infračervené světlo určitých vlnových délek. Absorpční spektrum je odlišné pro každý plyn. Snímače pracující na tomto principu používají elektronicky modulované infračervené zdroje dvou různých vlnových délek. Jedna vlnová délka je charakteristická pro daný měřený plyn, kdežto u druhé vlnové délky již nedochází k absorpci infračerveného záření měřeným plynem. Signály z obou detektorů jsou zesíleny a pomocí mikroprocesoru dále zpracovány.
- infračervené snímače liniové – pracují na stejném principu jako infračervené snímače bodové s tím rozdílem, že jsou tyto snímače využity k monitoringu větších prostorů. V těchto prostorech však musí být umístěno několik těchto snímačů. Infračervené snímače jsou poměrně dražší. Jejich odezva na detekovaný plyn je však poměrně rychlá a také přesnost měření je velmi vysoká.
- fotoakustické snímače – využívají se k detekci plynů s velmi nízkou koncentrací. Testovaná směs plynu je zavedena do měřicí komory a dále vystavena specifické vlnové délce pulzního infračerveného světla. Je-li ve směsi daný plyn, pak absorbuje určité množství infračerveného záření, které je úměrné množství daného plynu. Molekuly plynu se zahřívají a chladnou tak, jak absorbují energii z pulzního infračerveného záření. Tlakové změny, které v důsledku zahřívání a chladnutí molekul vznikají, jsou snímány citlivým mikrofonem umístěným uvnitř fotoakustického infračerveného snímače.
- snímače využívající ionizace plamenem (FID) – tento princip elektrické změny ve vodíkovém plameni. Ionizované atomy nebo molekuly, které vznikají v plameni, jsou přenášeny elektrickým polem a jsou tak měřeny jako elektrický proud. Elektrické pole je vytvářeno přivedením napětí řádově několika stovek volt na elektrodu v blízkosti plamene.
- fotoionizační snímače – *„vzorek plynu je nasáván do měřicí komory integrovaným čerpadlem a ionizován ultrafialovým světlem (dále UV). Ionizační potenciál UV světla představuje specifickou hodnotu pro měřený plyn. Molekuly plynu se rozdělí na ionty (RH^+) a elektrony (e^-). V elektrickém poli se pohybují k příslušným elektrodám. Tím vzniká elektrický proud, který se převádí na signál úměrný koncentraci plynu. Ionizační potenciál pro různé látky lze najít v literatuře nebo můžete dostat seznam od dodavatele přístroje. Mezi příklady sloučenin, které mohou být obvykle detekovány patří: organické molekuly, obsahující několik atomů uhlíku a/nebo heteroatomy jako je kyslík, síra, brom; nenasycené a aromatické uhlovodíky; aminy; několik anorganických hořlavých látek jako jsou čpavek, sirovodík a sirouhlík; a některé nehořlavé plyny jako jsou oxid dusičitý, oxid dusičný a trichlóretylén.“*
„Hlavní součástí PID jsou UV žárovky s ovládačem (vysoko-napěťová nebo vysokofrekvenční metoda), dvě sběrací elektrody se zesilovačem, filtr vzorku a čerpadlo. Není zapotřebí žádný pomocný plyn.“ [4]
- katalytické snímače – princip snímačů je založen na katalytickém spalování měřeného plynu ve vzduchu v koncentracích do dolní meze výbušnosti. Snímač je složen z dvojice párových elementů (detektoru a kompenzátoru). Detektor obsahuje cívku z platinového drátku, která je pokryta katalytickým materiálem. Kompenzátor je stejný jako detektor, ale neobsahuje katalyzátor. Spalitelné plyny oxidují na pouze na detektoru, kde vzniklé teplo zvětšuje jeho elektrický odpor a tím vytváří signál úměrný koncentraci spalitelného plynu. Kompenzátor slouží ke

kompenzaci vlivu okolní teploty, vlhkosti a tlaku, které stejně ovlivňují oba elementy. Tyto snímače jsou náchylné k dočasnému nebo trvalému překrytí některými znečišťujícími látkami.

- tepelně vodivostní snímače – „snímače založené na tomto principu jsou vhodné pro monitorování plynů, jejichž tepelná vodivost se významně odlišuje od referenčního okolí (obvykle vzduchu). Vzorek plynu prochází přes elektricky vytápěné vlákno nebo kapku při konstantním průtoku plynu. Teplota vlákna, která určuje jeho elektrický odpor, je stanovena ztrátou (vyzářením) tepla do okolního plynu a závisí na molekulární hmotnosti a jiných fyzikálních vlastnostech molekul. Obvykle je zde kompenzační element v referenčním plynu pro vyloučení vlivu kolísání okolní teploty. Indikace v poměru k čistému vzduchu je pozitivní s vysokou citlivostí pro takové plyny jako je vodík, hélium, neon ve vzduchu a přijatelnou citlivostí pro metan ve vzduchu. Indikace v poměru k čistému vzduchu je negativní pro plyny lehčí než vzduch nebo se specifickými molekulárními vlastnostmi. Odezva na plynou směs není definovatelná, pokud není znám poměr složek plynu ve směsi. V nejhorším případě může směs plynů s vysokou a nízkou vodivostí způsobit, že zařízení nebude vydávat žádnou odezvu. Snímač je schopen měřit vysokou koncentraci i v případě nepřítomnosti kyslíku a je nezávislý na úrovni kyslíku v protékajícím plynu. Proto je tento měřicí princip využíván pro měření vysokých koncentrací plynů do 100% objemových.“ [4]
- polovodičové snímače – princip těchto snímačů spočívá ve změně elektrické vodivosti, ke které dochází při absorpci plynů na polovodičovém povrchu. Rozdíly v odporu polovodičového materiálu vystaveného jiným plynům než je vzduch jsou převáděny na elektrický signál, který je úměrný koncentraci plynu. Pro urychlení celého procesu je polovodičový detektor zahříván na teplotu 200 až 350°C. Pomocí dotací polovodiče různými chemickými prvky lze zvýšit selektivitu snímače na daný plyn.
- elektrochemické snímače – tyto snímače mají elektrody odděleny elektrolytem umístěné v plastovém pouzdře. Tyto elektrody jsou připojeny k vnějšímu obvodu. Plyná směs difunduje do snímače přes polopropustnou membránu a elektrochemickou reakcí vzniká elektrický proud. Vzhledem k tomu, že plyn difunduje do snímače přes polopropustnou membránu, je takto vzniklý proud úměrný koncentraci daného plynu. Tyto snímače by neměly být používány při teplotách pod bodem mrazu. Jelikož dochází k postupnému spotřebovávání reaktivními plyny, proto je třeba tyto senzory v určitých intervalech obměňovat.

4.2 SW prostředky

Proto, aby bylo možno provést návrh měřicí jednotky, bude využito softwarových prostředků. Použití tohoto software, nejenže značně usnadní samotnou práci při návrhu, ale také zjednoduší celou práci a zkrátí dobu návrhu. Aktuálně lze využít tři druhy programů:

- software pro návrh HW části
- software pro návrh a kompilaci firmware
- software pro simulaci navržených částí

Software pro návrh HW části

Návrh HW částí značně usnadňují různá vývojová prostředí. V těchto programech lze provést návrh jednotlivých částí a na základě tohoto návrhu lze vyexportovat data, která budou použita při výrobě. Například při návrhu DPS lze vytvořit v jednom programu schéma daného obvodu a potom dle daného schéma vytvořit návrh DPS. Mezi takové programy patří například Eagle, nebo placená varianta OrCAD. Podobnou skupinou programů jsou ty, v nichž lze vytvářet výkresy pro výrobu například obalů. K těmto programům patří například SolidWorks, nebo SketchUp, který je dostupný zdarma.

Software pro návrh a kompilaci firmware

Proto, aby bylo možno naprogramovat použitý mikrokontrolér, je třeba vytvořit program, který bude po kompilaci nahrán do použitého MCU. Aby bylo možno program vytvořit, je třeba použít SW, pomocí něhož jej vytvoříme. K dispozici je mnoho různých nástrojů. Některé jsou k dispozici zcela zdarma, ale jsou i takové, za které je třeba zaplatit. V případě návrhu firmware pro měřicí jednotku bude využito SW, který je zdarma.

Samotný program je možno napsat třeba v obyčejném textovém editoru s tím, že jej později zkompilujeme pomocí nějakého dalšího programu, a ten potom nahrajeme do MCU. Mezi takové nástroje patří například Atmel Studio, Code::Blocks případně WinAVR. Jako placenou alternativu lze použít například vývojové prostředí μ Vision firmy KEIL.

Software pro simulaci navržených částí

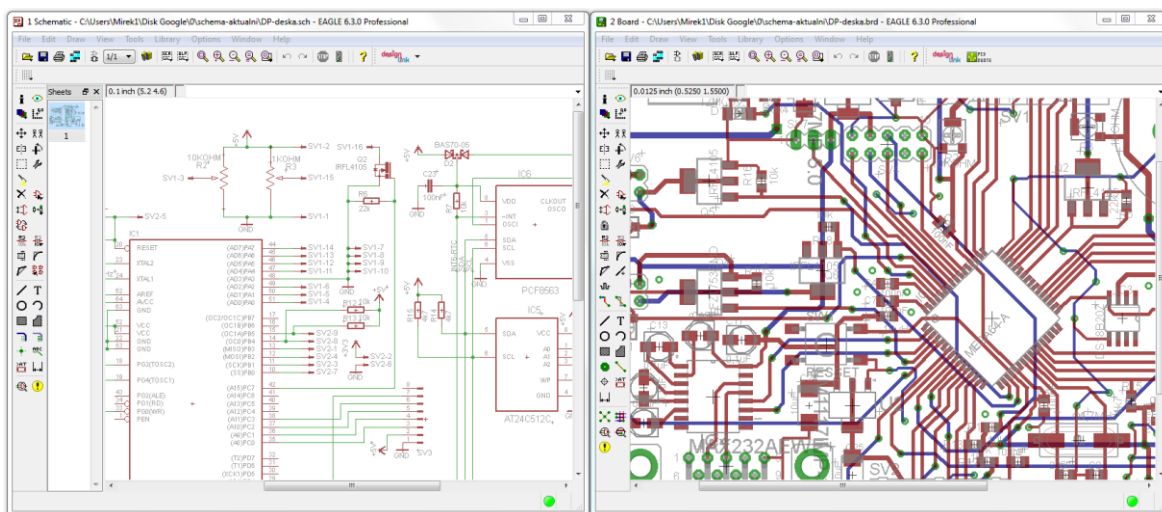
Předtím než je návrh DPS předán do výroby, je vhodné jej otestovat v nějakém simulátoru. Jednoduché návrhy lze simulovat v programu Qucs, ale na složitější obvody je již třeba využít složitější a placené programy jako je Proteus od Labcenter Electronics Ltd.

5 Návrh jednotky

Cílem této práce je navrhnout a vytvořit autonomní jednotku, s jejíž pomocí bude možno měřit koncentrace výbušných plynů v ovzduší. Jednotka by také měla měřit množství oxidu uhelnatého a okolní teplotu. Tato jednotka by měla být umístěna na haldě, a proto není předpoklad, že bude měřit příliš vysoké koncentrace a teploty sledovaných plynů. Předpokládané koncentrace CH_4 by neměly dosahovat 50% dolní meze výbušnosti. Z tohoto důvodu nebude konstrukce jednotky v této fázi vývoje v nevybušném provedení. Pokud bude později požadavek rozšířen tak, že by měla jednotka měřit i vyšší koncentrace, pak by již bylo třeba provést výměnu obalu za takový, který vyhoví požadavkům [5].

5.1 HW návrh

Návrh HW částí měřicí jednotky je proveden v programu EAGLE v.6.3.0. Jedná se o produkt německé firmy CadSoft Computer GmbH [6]. Pomocí tohoto programu lze vytvořit schéma navrhovaného obvodu. Na základě vytvořeného schéma je také možno navrhnout DPS. Výhoda tohoto programu spočívá v tom, že pro něj bylo vytvořeno velké množství knihoven s elektronickými součástkami, které lze ve svých návrzích využívat. Další výhodou spočívá v tom, že si uživatel může vytvořit své vlastní knihovny součástek. Velkou výhodou je také dostupnost neplacené verze. Tato neplacená verze však má mnoho omezení (velikost DPS, počet vrstev...). Vzhledem k tomu, že velikost navrhované DPS v průběhu návrhu přesáhla limity verze zdarma, proto byla použita školní verze, ve které již bylo možno návrh dokončit.



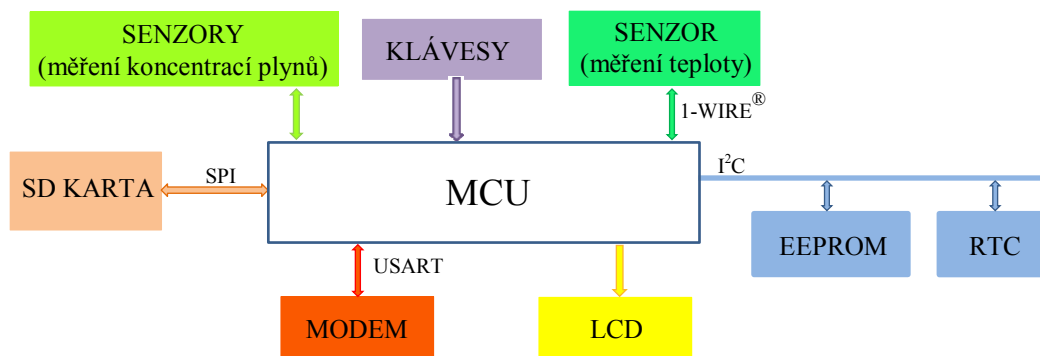
Obr.5 - vývojový program EAGLE

Konečný návrh lze převést buď na obrazová data (bmp, tiff...), nebo přímo na data potřebná k výrobě DPS pomocí integrovaného CAM processoru.

Deska plošných spojů je navržena jako oboustranná s tím, že součástky jsou umístěny pouze na jedné straně. Všechny použité součástky mimo konektorů jsou v provedení SMD.

5.1.1 Blokové schéma

Na Obr.6 se nachází blokové schéma návrhu měřicí jednotky. Návrh vychází z toho, že naměřené hodnoty a všechny činnosti měřicí jednotky bude koordinovat a zpracovávat mikrokontrolér. Způsob komunikace (jedno/oboustranná) s jednotlivými perifériemi je také součástí blokového schéma.



Obr.6 - blokové schéma měřicí jednotky

Z Obr.6 je patrné, že mikrokontrolér bude využívat některé standardní periférie, které do něj výrobce implementoval. Pomocí těchto periférií je komunikace s ostatními částmi jednotky mnohem jednodušší, než kdybych navrhoval vlastní hardwarové rozhraní.

5.1.2 Popis jednotlivých částí

5.1.2.1 Napájení

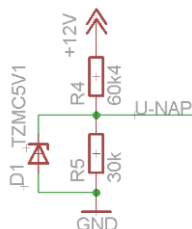
Napájení měřicí jednotky elektrickou energií zajišťuje 12V olověný akumulátor umístěný ve vnitřní části jednotky. Ze svorek akumulátoru je přes přístrojovou pojistku *FUI* a vypínač *VI* přivedeno napájecí napětí na svorkovnici *X1*. V těsné blízkosti svorkovnice *X1* se nachází ochranná dioda *D3*. Tato dioda je zde umístěna proto, aby nedošlo při špatném připojení (přepólování) napájecích vodičů do svorkovnice *X1* k poškození měřicí jednotky.



Obr.7 - svorkovnice pro připojení napájení s ochrannou diodou

Pod diodou *D3* se nachází napěťový dělič složený z rezistorů *R4* a *R5*, které jsou použity proto, aby bylo možno monitorovat napájecí napětí (napětí baterie). K rezistoru *R5* je připojena paralelně Zenerova dioda *D1*, která má zabránit napětí vyššímu než 5,1V, aby poškodilo MCU (slouží jako

napětíová reference). Tuto část využívá měřicí jednotka k monitoringu velikosti napájecího napětí akumulátoru, aby nedošlo k „hlubokému“ vybití, což by mohlo vést k jeho poškození. Měřicí jednotka před každým měřením provede kontrolu, zda je na akumulátoru dostatečně velké napětí. Jestliže je zjištěno napájecí napětí nižší než 10,8V, tak jednotka neprovede žádné měření (blíže v kapitole o měření). Zapojení měřícího obvodu je na Obr.8 a v pravé spodní části Obr.7.



Obr.8 - měření napájecího napětí baterie

Hodnotu rezistoru R_5 vypočteme ze vztahu (5.1). Pro výpočet je uvažováno, že napájecí napětí z akumulátoru $U_{nap}=15[V]$, $U_{R5}=\max.5[V]$ a hodnota $R_4=60,4[k\Omega]$.

$$U_{R5} = \frac{R_5}{R_4 + R_5} * U_{nap}[V] \quad (5.1)$$

Úpravou vztahu 5.1 a dosazením hodnot :

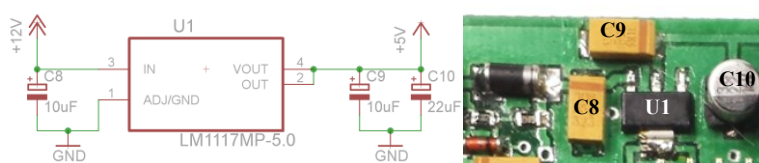
$$R_5 = \frac{U_{R5} \cdot R_4}{U_{nap} - U_{R5}} \Rightarrow R_5 = \frac{5 \cdot 60400}{15 - 5} = 30200[\Omega]$$

Zaokrouhlením vypočtené hodnoty rezistoru R_5 dostaneme 30[kΩ].

Z výše uvedených výpočtů plyne, že je nutno změřené napětí na děliči ještě vynásobit koeficientem $k=1.013333$, abychom dostali skutečnou hodnotu U_{nap} .

$$k = \frac{U_{nap}}{U_{R5}} \Rightarrow \frac{15}{4,97788} = 1,013333$$

Následně se napájecí napětí přivede z diody $D3$ na LDO stabilizátor $U1$ (LM1117MP-5.0). Pomocí stabilizátoru $U1$ snížíme napájecí napětí na 5V. Takto snížené napětí již lze použít k napájení MCU a dalších použitých obvodů a senzorů.



Obr.9 – zapojení stabilizátoru napětí LM1117MP-5.0

Stabilizátor je zapojen dle doporučení výrobce v [7]. V tomto případě je užito tantalových kondenzátorů $C8$ na vstupní straně a $C9$ na výstupní straně stabilizátoru. Mimo doporučené zapojení je ještě na výstupní straně přidám elektrolytický kondenzátor $C10$.

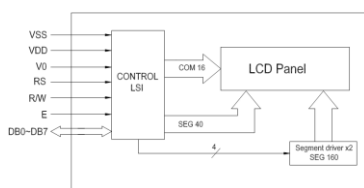
5.1.2.2 LCD display

Pro zobrazení ovládacího menu a měřených hodnot je použit LCD display ATM2004D-FLY-YBW Obr.10.



Obr.10 - LCD display ATM2004D-FLY-YBW

Jedná se o display s LED podsvícením pozadím a vlastním řadičem S6A0069 [8], který zobrazuje 4 řádky po 20-ti znacích. Každý znak se skládá z matice 5x8 bodů. Výhodou tohoto LCD je umístění znakové sady v ROM, takže již není třeba všechny zobrazované znaky zvlášť definovat, a také možnost nadefinovat si vlastní znaky. Blokové schéma LCD je na Obr.11.

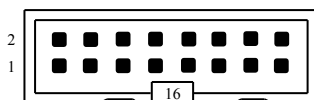


Obr.11 - blokové schéma ATM2004D

Tento LCD lze připojit k buď pomocí čtyř, nebo osmi datových vodičů. Výhoda čtyř-vodičového zapojení spočívá v úspoře čtyř vývodů z MCU, nevýhodou takového zapojení je mírně složitější komunikace. Display je napájen 5V. Intenzitu podsvícení a zobrazovaných znaků lze nastavit změnou napětí na vývodech č.3 a č.15. Způsob komunikace a časování jsou popsány v [8]. Popis vývodů koresponduje s popisy jednotlivých pinů u konektoru SV1.

Připojení LCD

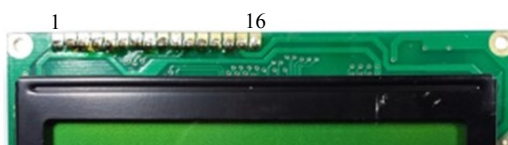
LCD display je připojen na DPS ke konektoru SV1. Z tohoto konektoru jsou vyvedeny datové, ovládací i napájecí vodiče. Čísla jednotlivých pinů konektoru korespondují s čísly vývodů na LCD.



Obr.12 - zapojení konektoru SV1

Popis pinů konektoru SV1

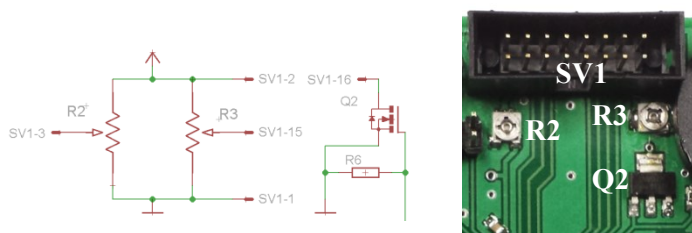
pin č.1	GND
pin č.2	+5V (napájení LCD)
pin č.3	kontrast zobrazovaného textu
pin č.4	RS signál LCD
pin č.5	R/W signál LCD
pin č.6	E signál LCD
pin č.7 až 10	GND
pin č.11 až 14	datové vodiče
pin č.15	napájení podsvícení LCD
pin č.16	GND pro napájení podsvícení LCD



Obr.13 - čísla vývodů LCD

Pro napájení LCD je využito 5V vývodu ze stabilizátoru *UI*. Kontrast zobrazovaných znaků lze nastavit pomocí trimru *R2* a intenzitu podsvícení LCD nastavuje trimr *R3*.

Během spuštěného měření, nikoliv však kalibrace plynových čidel, jednotka vypne podsvícení LCD. Vypnutí je provedeno proto, aby byl snížen odběr elektrické energie z akumulátoru. Zapnutí a vypnutí podsvícení zajišťuje tranzistor *Q2*.

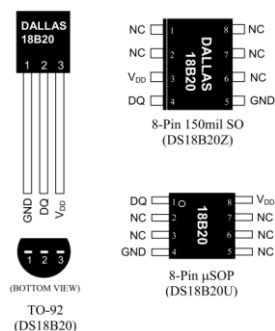


Obr.14 - HW ovládací prvky LCD

Ovládání tranzistoru *Q2* (vývod GATE) je připojeno pomocí pull-down rezistoru *R6* pomocí něhož se udržuje nulový potenciál v době, kdy není vyžadováno podsvícení LCD.

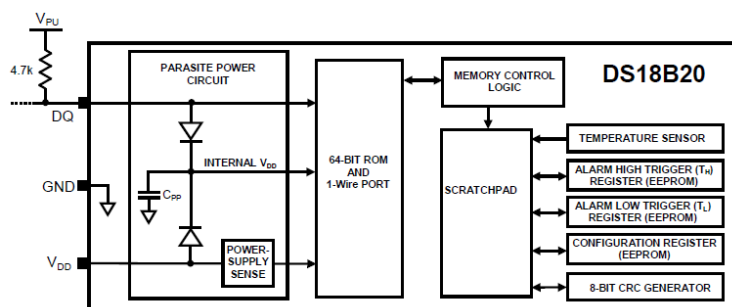
5.1.2.3 Obvod DS18B20

Vzhledem k tomu, že jednotka nebude vystavena teplotám vyšším než 100°C, proto je použito inteligentní digitální teplotní čidlo DS18B20 firmy MAXIM.



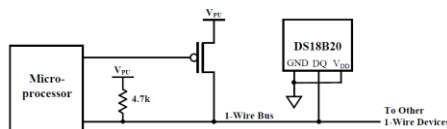
Obr.15 - teplotní čidlo DS18B20; zdroj [9]

Jedná se o teplotní senzor, jež je schopen měřit teplotu v rozmezí -55°C až 125°C s přesností $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Obvod je možno nastavit, aby měřil s rozlišením 9, 10, 11 a 12 bitů, což odpovídá měření s přesností na 0,5°C, 0,25°C, 0,125°C nebo 0,0625°C. Blokové schéma čidla je na Obr.16.

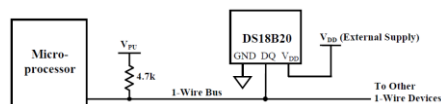


Obr.16 - blokové schéma obvodu DS18B20; zdroj [9]

Teplotní čidlo komunikuje se svým okolím pomocí 1-WIRE[®] sběrnice, kterou vyvinula firma Dallas Semiconductor. Pomocí této sběrnice je možno připojit k MCU několik zařízení pouze pomocí dvou vodičů v tzv. parazitním zapojení. Zapojení je možno také realizovat pomocí tří vodičů, kdy třetí vodič je využíván jako napájecí.



Obr.17 - připojení DS18B20 pomocí dvou vodičů; zdroj [9]



Obr.18 - připojení DS18B20 pomocí tří vodičů; zdroj [9]

Každé zařízení na sběrnici 1-WIRE[®] má dáno od výrobce 64 bitové výrobní číslo, pomocí něhož je možno dané zařízení (teplotní čidlo) přímo adresovat. Teplotní čidlo také umožňuje nastavit horní a dolní hranici teploty, kdy při dosažení této hranice je změněna hodnota ve vnitřní paměti.

Komunikace s DS18B20

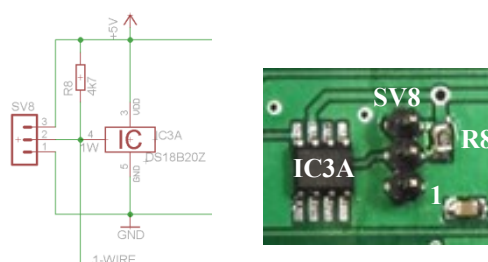
Dá se říci, že komunikace s teplotním čidlem probíhá ve třech krocích:

1. inicializace
2. zaslání ROM příkazu
3. zaslání funkčního příkazu

Inicializace začíná tím, že je na sběrnici vyslán RESET puls z MASTER zařízení, jež je následován PRESENT pulsem ze SLAVE zařízení. Díky tomuto PRESENT pulsu na sebe SLAVE zařízení upozorní. Poté je zaslán ROM příkaz. Přehled ROM a funkčních příkazů je příloze B.

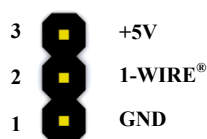
Připojení DS18B20 k jednotce

Teplotní senzor DS18B20 lze připojit pomocí konektoru SV8. Zapojení tohoto konektoru je na Obr.20.



Obr.19 - umístění konektoru SV8

Těsně vedle konektoru SV8 se nachází druhý teplotní senzor IC3A, který je zde umístěn jako záloha, kdyby došlo k odpojení teplotního senzoru umístěného pod senzory plynů. Na pravé straně SV8 se nachází ještě pull-up rezistor R8 (důvod přítomnosti rezistoru je popsán v kapitole 5.1.2.3).

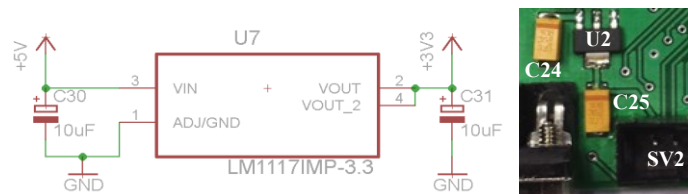


Obr.20 - zapojení konektoru SV8

Sběrnice 1-WIRE® na DPS je navržena jako tří vodičova, a proto by neměl být problém s napájením, kdyby byly v budoucnu přidány další teplotní senzory (musel by se jen změnit program).

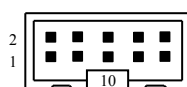
5.1.2.4 SD karta

Z [10] je patrné, že rozsah napájecího napětí pro SD karty je v rozmezí 2,7-3,6V. Proto je na základní desce měřicí jednotky druhý stabilizátor napětí, který sníží napájecí napětí pro SD kartu na 3,3V. Stejně jako pro napájení měřicí jednotky je zde použito LDO stabilizátoru. Jedná se o obvod LM1117MP-3.3, který je zapojen dle doporučení výrobce. Na vstupní části stabilizátoru je připojen tantalový kondenzátor C24. Následně je stabilizátorem U2 sníženo napětí z 5V na 3,3V.



Obr.21 – zapojení stabilizátoru LM1117MP-3.3

Konektor *SV2*, určený pro připojení modulu s SD kartou, lze využít také k naprogramování MCU. Vývody č.1 až č.6 korespondují s vývody ISP programátoru dle [11]. I když je ve specifikaci ISP napsáno, že lze používat napájecí napětí od 2,7V do 6V, přesto je třeba dát si pozor na to, že MCU napájím 5V. Některé ISP programátory mohou mít problém s dvojím napětím, jelikož je na pinu č.2 3,3V. Pro napájení 5V je možno využít konektor *SV7* – pin č.3.



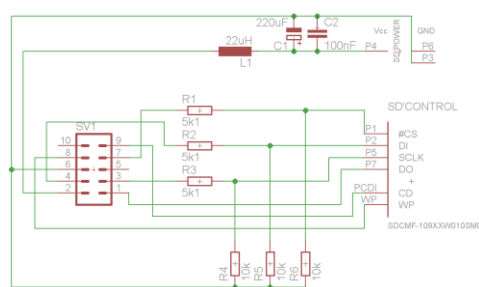
Obr.22 - zapojení konektoru SV2

Popis pinů konektoru SV2

pin č.1	MISO
pin č.2	+3,3V
pin č.3	SCK
pin č.4	MOSI
pin č.5	RESET
pin č.6	GND
pin č.7	SS
pin č.8	SD write protected
pin č.9	SD inserted
pin č.10	nezapojen

Modul SD karty

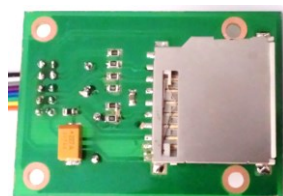
Modul pro SD karty je vyroben jako samostatná část měřicí jednotky. K tomuto řešení je přistoupeno proto, aby jej bylo možno umístit v jiné části obalu měřicí jednotky, a také proto, že by rozměry základní desky byly větší.



Obr.23 - schéma zapojení modulu SD karty

Zapojení konektoru *SV1* v modulu SD karty je téměř shodné se zapojením konektoru *SV2* na základní desce měřicí jednotky. Výjimku tvoří pouze pin č. 5, který je na modulu nezapojen.

Napájení ze základní desky je na modulu doplněno cívkou *L1*, tantalovým kondenzátorem *C1* a filtračním kondenzátorem *C2*. K tomuto doplnku napájení mne vedly názory a zkušenosti uživatelů na různých diskuzních fórech, především však popis na [12]. Vývody SS, MOSI a SCK jsou doplněny napěťovými děliči, s jejichž pomocí je sníženo napětí na 3,3V. Napěťový dělič je nutno použít, protože se na výstupu z MCU nachází 5V a to by poškodilo použitou SD kartu. Vývod MISO napěťový dělič neobsahuje. Na tomto vývodu nepřevyšuje napětí 3,3V. I když je napětí na vývodu MISO nižší než napájecí napětí MCU, i přesto jej dokáže bez problému zpracovat.



Obr.24 - modul SD karty

Archivace naměřených dat

Měřicí jednotka primárně ukládá naměřené a vypočtené hodnoty na SD kartu. Použitá karta může být naformátována na souborový systém FAT12, FAT16 nebo FAT32. Jiné souborové systémy (NTFS, Ext3...) použitý program nepodporuje.

Při započetí měření jednotka vytvoří na SD kartě nový „CSV“ soubor. Název souboru tvoří datum a čas, kdy byl tento soubor vytvořen. Například soubor „201403310024.csv“ byl vytvořen 31.3.2014 v 00:24 hodin. Důvod proč jsou data ukládána do tohoto typu souboru je takový, že jde o poměrně hodně rozšířený typ, který dokáže načíst většina tabulkových procesorů, a také proto, že se v podstatě jedná o textový soubor, v němž je jako oddělovač použita čárka, případně středník.

	A	B	C	D	E	F
1	datum	cas	teplota	CO	CH4	Ubat
2	31.3.2014	0:29:52	23.56		34	6 11.16
3	31.3.2014	0:34:52	23.56		32	7 11.15
4	31.3.2014	0:39:52	23.6		32	7 11.16
5	31.3.2014	0:44:52	23.18		31	6 11.15
6	31.3.2014	0:49:52	22.62		31	6 11.15
7	31.3.2014	0:54:52	22.75		31	6 11.15
8	31.3.2014	0:59:52	23.00		30	6 11.15

Obr.25 - struktura csv souboru

Struktura souboru

První řádek tvoří popisy jednotlivých sloupců, tzn. popis uložených hodnot. Další řádky již obsahují naměřená/vypočtena data. První sloupec souboru obsahuje datum, druhý čas měření, třetí a čtvrtý sloupec obsahuje naměřené hodnoty oxidu uhelnatého a metanu. Poslední sloupec obsahuje napětí napájecí baterie.

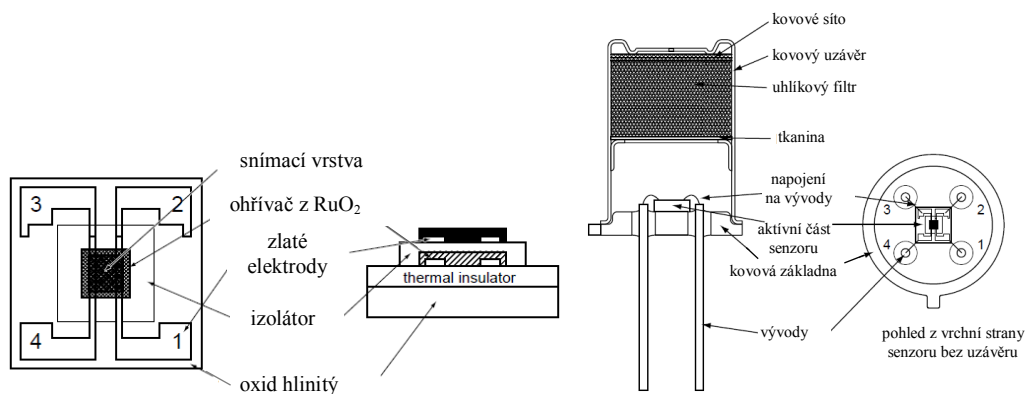
5.1.2.5 Senzor koncentrace CO

Pro měření koncentrace oxidu uhelnatého využívá měřicí jednotka senzor TGS2442.



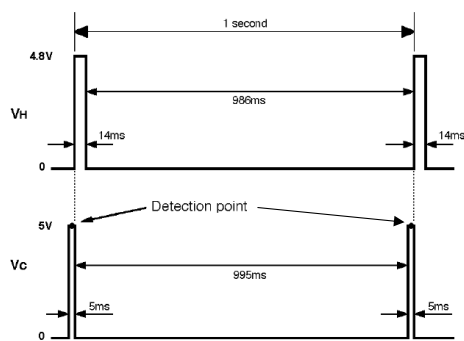
Obr.26 - senzor FIGARO TGS2442

TGS2442 využívá vícevrstvou strukturu senzoru. Na Obr.27 je znázorněna struktura použitého senzoru. Základ tvoří skleněná vrstva tepelné izolace umístěná mezi vrstvy oxidu hlinitého a „ohříváč“ z oxidu ruthenia. K tepelné izolaci je ještě připevněná dvojice zlatých elektrod pro napájení „ohříváče“. Na vrstvu RuO_2 navazuje izolant oddělující tuto vrstvu od snímací vrstvy z oxidu cíničitého. Také tuto vrstvu spojuje s vnější částí senzoru dvojice zlatých elektrod připojených k vývodům ze senzoru. Horní část kovového uzávěru vyplňuje uhlíkový filtr, kterým se snižuje vliv ostatních plynů na senzor.

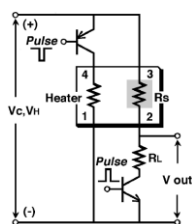


Obr.27 - struktura senzoru TGS2442; zdroj [13]

Měření pomocí TGS2442 probíhá v 1s cyklech Obr.28. V první části měřicího cyklu se musí senzor po dobu 14ms zahřívat. Poté je po dobu 981ms nechám senzor „v klidu“, tzn., není na něj přivedeno napájecí napětí. Následuje úsek dlouhý 5ms, v němž musí MCU změřit napětí mezi zátěžovým rezistorem R_L (v případě měřicí jednotky trimr R_{II}) a snímací částí senzoru, tzv. „detection point“.



Obr.28 - cyklus měření TGS2442; zdroj [14]

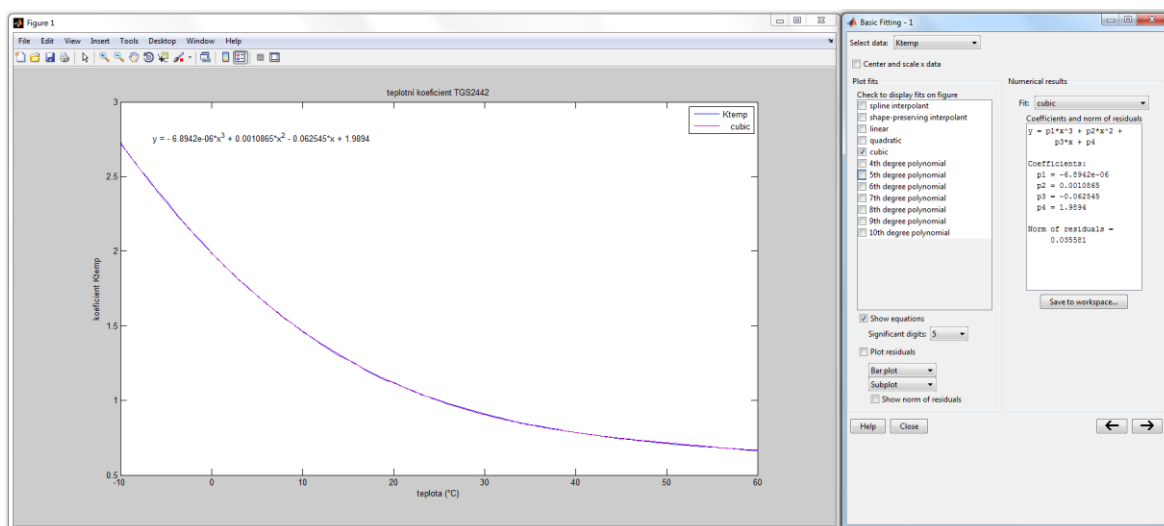


Obr.29 - jednoduchý měřicí obvod s TGS2442

Výrobce udává citlivost TGS2442 na oxid uhelnatý v rozmezí 30-1000ppm. Během měření pomocí tohoto senzoru je nutno také brát v úvahu teplotu okolního prostředí. Teplotní kompenzaci měřicího obvodu lze provést dvěma způsoby:

- 1) hardwarově
 - 2) softwarově
- 1) HW kompenzace je popsána v [15] kapitola 5-2. Vzhledem k tomu, že by tento způsob kompenzace měření „obsadil“ další 3 vývody MCU, proto bylo užito druhého způsobu.
 - 2) SW kompenzace měření lze provést úpravou vypočtených hodnot pomocí teplotního koeficientu.

Teplotní koeficient lze určit z tabulky v příloze C. Nevýhoda tohoto řešení spočívá v tom, že je nutno celou tuto tabulku uložit do paměti MCU. Jiným řešením, použitým při realizaci měřicí jednotky, je aplikace matematické funkce pro výpočet teplotního koeficientu. Pro určení této funkce byl využit program MATLAB od MathWorks Inc. Jak je patrné z levé části Obr.30, nalezená funkce téměř dokonale kopíruje křivku KTemp, kterou tvoří hodnoty z tabulky v příloze D.



Obr.30 - výpočet koeficientů rovnice v prostředí MATLAB

Samotný výpočet koncentrace oxidu uhelnatého se skládá z několika kroků.

1. Nejprve musí MCU změřit napětí mezi trimrem $R11$ a snímací částí senzoru (vývod č. 2) v daném časovém intervalu („detection point“ na Obr.28).
2. Následuje výpočet teplotního koeficientu K_{Temp} .

$$K_{Temp} = p_1 * x^3 + p_2 * x^2 + p_3 * x + p_4 \quad (5.2)$$

kde: x aktuální teplota okolí
 $p_1 - p_4$ koeficienty vypočtené pomocí MATLABu

$$\begin{aligned} p_1 &= -6,8942e^{-6} \\ p_2 &= 0,0010865 \\ p_3 &= -0,062545 \\ p_4 &= 1,9894 \end{aligned}$$

3. Poté vypočteme elektrický odpor snímací vrstvy senzoru R_s .

$$R_s = \frac{V_c - V1}{V1} [\Omega] \quad (5.3)$$

kde: $V1$ napětí změřené v „detection point“
 V_c napájecí napětí 5[V]

4. Provedeme teplotní korekci R_s pomocí K_{Temp} .

$$R_{sKTemp} = \frac{R_s}{K_{Temp}} [\Omega] \quad (5.4)$$

5. Nakonec provedeme výpočet koncentrace oxidu uhelnatého.

$$C = \frac{100}{R_{sKTemp}} [ppm] \quad (5.5)$$

kde: C koncentrace CO

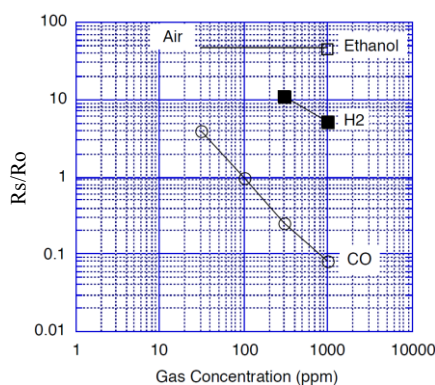
Například máme-li okolní teplotu $25[^\circ\text{C}]$ a naměříme-li v „detection point“ napětí $2,5[\text{V}]$, pak můžeme dosazením daných hodnot do vztahů 5.2 až 5.5 ověřit správnost výpočtů pomocí grafu na Obr.31.

$$K_{Temp} = -6,8942e^{-6} * 25^3 + 0,0010865 * 25^2 + (-0,062545) * 25 + 1,9894 = 0,997116$$

$$R_s = \frac{5 - 2,5}{2,5} = 1[\Omega]$$

$$R_{sKTemp} = \frac{1}{0,997116} = 1,00289[\Omega]$$

$$C = \frac{100}{1,00289} = 99,7116 [ppm]$$

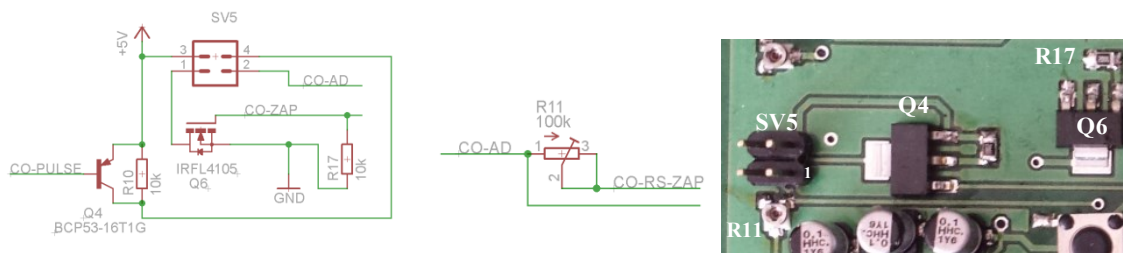


Obr.31 - závislost odporu R_s na koncentraci CO; zdroj [13]

Z výše uvedených výpočtů je vidět, že zvolený postup výpočtu koncentrace CO je správný, i když vypočtená hodnota koncentrace CO není přímo rovná 100ppm. Tato odchylka je způsobená interpolací, kterou provedl program MATLAB. Z tohoto důvodu byl místo zátěžového rezistoru R_L použit trimr, pomocí kterého lze při kalibraci měřící jednotky dosáhnout správné hodnoty koncentrace CO.

Připojení TGS2442

Senzor detekující oxid uhelnatý je připojen ke konektoru *SV5*. Čísla pinů tohoto konektoru odpovídají číslům vývodů senzoru TGS2442.



Obr.32 - napojení senzoru TGS2442



Obr.33 - SV5 - popis vývodů

Popis pinů konektoru SV5

pin č.1	GND
pin č.2	vývod na A/D převodník
pin č.3	+5V
pin č.4	přívod PNP tranzistoru(PULSE)

Senzor TGS2442 je napájen přes pin č.3 z +5V přivedených ze stabilizátoru *U1*. Z pinu č.2 je vývod na A/D převodník MCU a také na trimer *R11*. Tento trimer se využívá při kalibraci měřicí jednotky a také pro měření napětí, z něhož MCU vypočítá koncentraci měřeného plynu. Druhá část trimerní je připojena k vývodu PE3(CO-RS-ZAP) z MCU, kde jej připojuje k mínus pólu napájení. Pin č.1 je připojen k tranzistoru *Q6*, pomocí něhož se uzemňuje vývod „Heater“. Spínání tranzistoru *Q6* provádí vývod PG4(CO-ZAP) z MCU. Z důvodu udržení logické „0“ na tomto vývodu, mimo sepnutého stavu, byl tento vývod(PG4) „uzemněn“ přes pull-down rezistor *R17*. Poslední část obvodu pro připojení senzoru TGS2442 tvoří PNP tranzistor *Q4*. Tento tranzistor zapíná vyhřívání. Tranzistor přemostňuje pull-up rezistor *R10*. Tento rezistor zde byl použit proto, že výrobce doporučuje tuto kombinaci zapojení. Sepnutí/rozeptnutí tranzistoru *Q4* provádí MCU přes vývod PE2(CO-PULSE).

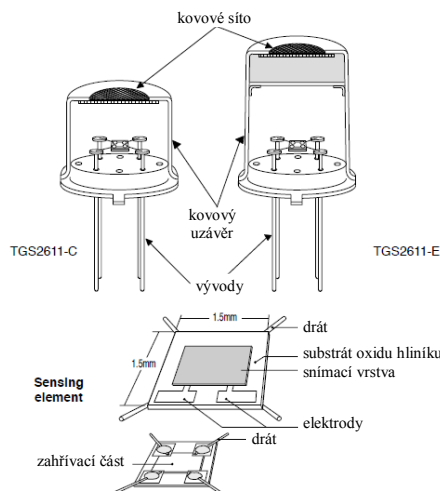
5.1.2.6 Senzor koncentrace CH₄

Pro měření koncentrace metanu využívá měřicí jednotka senzor TGS2611. Jedná se o stejný typ senzoru jako senzor pro měření koncentrace CO, tzn. senzor, který zahřívá snímáčí vrstvu.



Obr.34 - senzor FIGARO TGS2611

Struktura senzoru TGS2611 je popsána na Obr.35. Měření koncentrací metanu pomocí tohoto senzoru probíhá podobně jako u TGS2442 s tím rozdílem, že není nutno dodržet přesný časový harmonogram měření.



Obr.35 - struktura senzoru TGS2611; zdroj [14]

V [16] byl odvozen vzorec pro výpočet koncentrace metanu měřeného pomocí TGS2611.

$$C = \left(46,2 * \frac{V_{RL}}{V_C - V_{RL}} \right)^{\frac{1}{0,45}} [ppm]$$

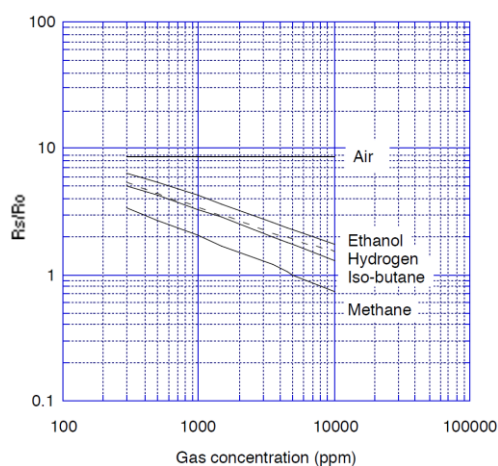
kde: V_{RL} napětí změřené A/D převodníkem
 V_C napájecí napětí (5V)

Při odvození vzorce pro výpočet koncentrace metanu autoři vycházeli z předpokladu, že při koncentraci 5000ppm bude napětí na zátěžovém rezistoru 2,5V.

Dosazením hodnoty $V_{RL}=2,5V$ při napájecím napětí $V_C=5V$ do výše definovaného vzorce dostaneme:

$$C = \left(46,2 * \frac{2,5}{5 - 2,5} \right)^{\frac{1}{0,45}} = 5002,6992 [ppm]$$

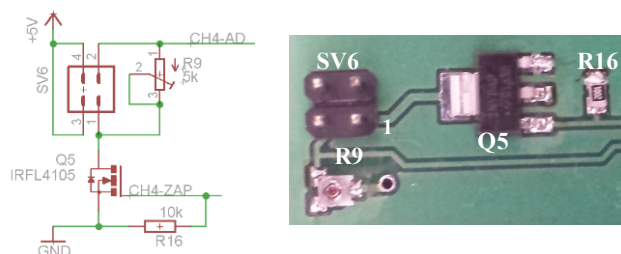
Vypočtená hodnota je velmi blízko teoretické hodnotě, kterou deklaruje výrobce v grafu na Obr.36. Proto, aby bylo dosaženo pokud možno co nejpresnějšího výsledku, je také u tohoto senzoru použit trimr R9.



Obr.36 – závislost odporu R_s na koncentraci metanu; zdroj [17]

Napojení TGS2611

Senzor pro detekci CH_4 je připojen na konektor *SV6*. Čísla vývodů konektoru *SV6* jsou shodná s čísly vývodů plynového senzoru TGS2611.



Obr.37 - napojení senzoru TGS2611



Obr.38 - SV6 - popis vývodů

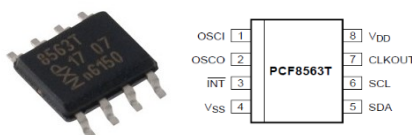
Popis pinů konektoru SV6

pin č.1	GND
pin č.2	vývod na A/D převodník
pin č.3 a č.4	+5V

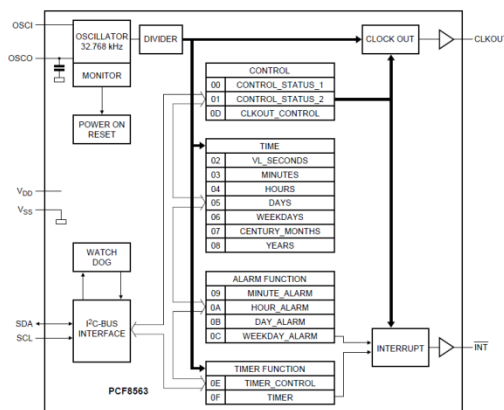
Napájení senzoru je připojeno na +5V. K vývodu z pinu č.2 je připojen trimer $R9$. Hodnota tohoto trimru je odvozena z Table 1 v [14]. Při této hodnotě $R9$ je možno použít senzory, jejichž ID je v rozmezí 01-21. Bude-li ID v rozmezí 22-24, pak je nutno $R9$ vyměnit za trimer s hodnotou vyšší. Tranzistor $Q5$ spíná vývod z pinu č.1 a vývod z $R9$ s mínus pólem napájení. Spínání tranzistor $Q5$ provádí vývod PG3(CH4-ZAP) z MCU. Na tento vývod je připojen ještě pull-down rezistor $R16$, pomocí něhož je udržován tranzistor v rozepnutém stavu.

5.1.2.7 Obvod reálného času

V měřící jednotce je třeba zajistit, aby byl kdykoliv k dispozici přesný čas. Tento úkol je možno realizovat buď pomocí použitého mikrokontroléru, nebo pomocí nějakého externího obvodu. Zde je použit integrovaný obvod PCF8563T (Obr.39). Jedná se o kalendář, hodiny a „budík“. Použitý obvod má minimální spotřebu, typicky $0,3\mu\text{A}$ při 5V , a proto je vhodný pro konstrukce tohoto typu. V této aplikaci je použit obvod v osmi-pinovém pouzdře SO8, tj. SMD provedení. Obvod RTC komunikuje se svým okolím pomocí sběrnice I^2C až do maximální frekvence 400kHz . Na rozdíl od jiných obvodů určených pro tuto sběrnici, zde není možno nastavit adresu. Výrobce nastavil adresu pro zápis dat do tohoto obvodu na „0xA2“ a adresu pro čtení na „0xA3“.

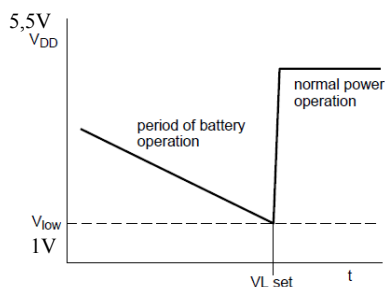


Obr.39 - Obvod PCF8563T včetně popisu vývodů; zdroj [18]



Obr.40 - Blokové schéma PCF8563; zdroj [18]

Aby mohl obvod korektně pracovat, musí být na vývodu 8 napájen napětím V_{DD} v rozmezí $1,8$ až $5,5\text{V}$. Obvod dokáže udržet reálný čas při napájení $1,0\text{V}$ až $5,5\text{V}$, a proto je možno využít k záloze napájení RTC obvodu záložní baterii, například typ CR2032, případně vysokokapacitní kondenzátor.



Obr.41 - Rozsah napájecího napětí; zdroj [18]

Na vývodu 7, CLKOUT, může obvod generovat frekvence $f = 32,768\text{kHz}$, $f = 1024\text{Hz}$, $f = 32\text{Hz}$, $f = 32,768\text{kHz}$ a $f = 1\text{Hz}$. Tohoto vývodu však není využito. K obvodu na vývody 1 a 2 je přidán ještě externí oscilátor s frekvencí $f_{osc} = 32,768\text{kHz}$. Z [18] je možno zjistit, že obvod může mít za rok odchylku $\pm 5\text{minut}$.

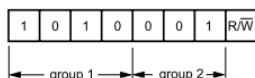
Vývod 3 je použit pro vyvolání externího přerušení v MCU, které spustí funkci pro měření. Vývod 4 je uzemněn a vývody 5 a 6 jsou připojeny ke sběrnici I²C.

Obvod obsahuje 16 osmibitových registrů, ze kterých lze číst, ale i zapisovat jejich hodnoty v BCD kódu, a tím je nastavit. V jakém tvaru jsou hodnoty uvedeny, je popsáno v [18]. Adresy a význam jednotlivých registrů je uveden v Tab.3.

adresa	jméno registru
0x00h	control status 1
0x01h	control status 2
0x02h	sekundy
0x03h	minuty
0x04h	hodiny
0x05h	den
0x06h	den v týdnu
0x07h	měsíc
0x08h	rok
0x09h	alarm – minuty
0x0ah	alarm – hodiny
0x0bh	alarm – dny
0x0ch	alarm – den v týdnu
0x0dh	nastavení výstupu CLKOUT
0x0eh	nastavení časovače
0x0fh	hodnota časovače

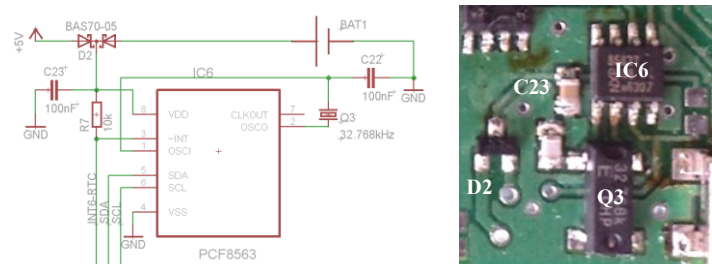
Tab.3 - PCF8563 adresy a jména registrů; zdroj [18]

Jak již bylo zmíněno výše v textu, komunikuje tento RTC obvod se svým okolím pomocí sběrnice I²C. Z tohoto důvodu musí „master“ zařízení nejdříve vyslat na sběrnici adresu tohoto obvodu podle toho, jestli chceme data zapisovat, nebo číst. Určení adresy je patrné z Obr.42. Poté by měl řídicí obvod vyslat adresu v obvodu dle Tab.3. Zápis i čtení je možno realizovat buď po jednom bajtu, nebo je možno načítat/zapisovat více bajtů za sebou.



Obr.42 - Určení adresy RTC pro čtení/zápis; zdroj [18]

Připojení RTC



Obr.43 - připojení PCF8563 k měřicí jednotce

Obvod PCF8563 je napájen 5V z vývodu stabilizátoru *U1*, které je přivedeno přes dvojitou diodu *D2*. V případě ztráty napájecího napětí pro měřicí jednotku, zajišťuje napájení RTC záložní baterie *BAT1*, připojená k diodě *D2*. K vývodu napájení je také připojen filtrační kondenzátor *C23*. Vývod č.3 (~INT) může být propojen s napájením pomocí pull-up rezistoru *R7*. Aktuálně však tento rezistor není použit. Mezi vývody č.1 a č.2 se nachází oscilátor *Q3*, pomocí něhož se udržuje „přesný“ tik vnitřních hodin. Vývod č.3 vyvolává externí přerušení MCU, které spustí měření. Tento interval lze nastavit v rozmezí 5min – 4h15min. Vývody č.5 a č.6 jsou připojeny k I²C sběrnici.

5.1.2.8 EEPROM

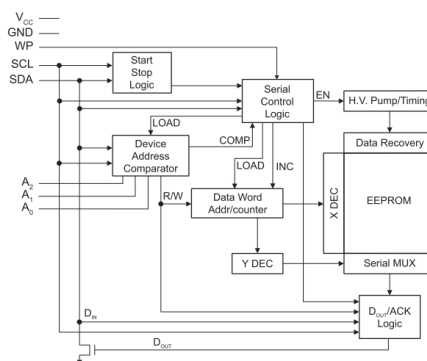
Měřicí jednotka v případě nenalezení paměťové karty ukládá naměřené a vypočtené hodnoty do externí paměti EEPROM, která je umístěna na DPS společně s MCU. Tato paměť je použita také proto, že může dojít k situaci, kdy bude SD karta, na kterou se data ukládají, již zaplněna a všechna data by byla „zahozena“. V této jednotce je použita sériová EEPROM paměť AT24C512C-SSHD-B (Obr.44), komunikující s mikrokontrolérem pomocí I²C sběrnice.



Obr.44 - obvod AT24c512

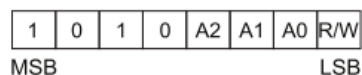
Tato paměť má velikost 512kbit – tj. 64kB. Hardwarově je rozčleněna na 512 stránek po 128B. Zápis je možný po jednom bajtu, nebo po stránkách, kdy je adresován první bajt ze zvolené stránky, a pak následuje několik bajtů, maximálně však 127. Pokud by bylo posláno více dat, pak by se začala opět zapisovat na začátek zvolené stránky, a tím pádem by byla předchozí data přepsána.

Na Obr.45 je blokové schéma použitého obvodu.



Obr.45 - blokové schéma AT24c512; zdroj [19]

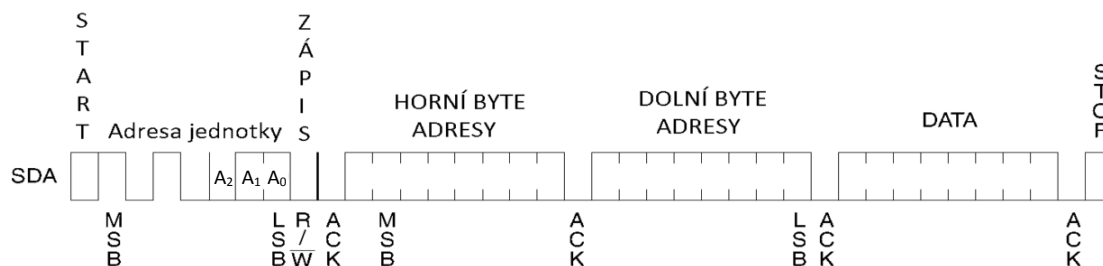
Zařízení je možno adresovat pomocí čtyř pevných a tří hardwarově nastavitelných bitů. Přivedeme-li na piny A_0 - A_2 V_{cc} , znamená to, že je v adrese vysoká logická úroveň. V této jednotce jsou tyto piny připojeny k zemi, takže je výsledná adresa $0xA0$ pro zápis a $0xA1$ pro čtení. Posledním bitem je řízeno zda-li se mají data zapisovat, nebo číst. Způsob určení adresy je znázorněn na Obr.46.



Obr.46 - určení adresy EEPROM; zdroj [19]

Zápis dat do paměti

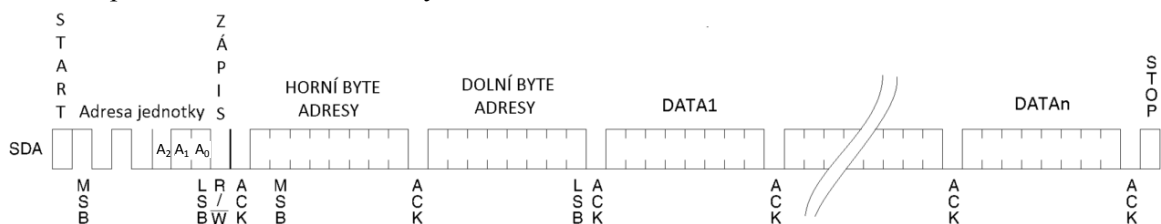
Komunikaci s pamětí zahájí MCU nejprve vysláním START bitu, a poté vyšle na sběrnici adresu tohoto obvodu. Paměť odpoví potvrzovacím bitem ACK. Po přijetí potvrzovacího bitu může MCU poslat adresu paměťové buňky. Adresa je 16 bitová ($2^{16}=65536$), a proto je třeba tuto adresu rozdělit na 2x 8bitů tzn. 2 bajty, a ty potom poslat tak, že se nejprve odešle horní byte, počká se na potvrzovací bit, a potom se pošle dolní byte a počká na potvrzovací bit. Proběhne-li vše v pořádku, pak je naadresována konkrétní buňka v paměti, a obvod čeká na příjem jednoho byte od MCU, jehož úspěšné přijetí potvrdí ACK bitem. Celý postup je na Obr.47.



Obr.47 - zápis jednoho byte do EEPROM

Je-li třeba zapsat více než jeden byte, pak je postup obdobný. Nejdříve je třeba určit buňku v paměti, kde potřebujeme zapsat první hodnotu, a po úspěšném přijetí, odešle do MCU

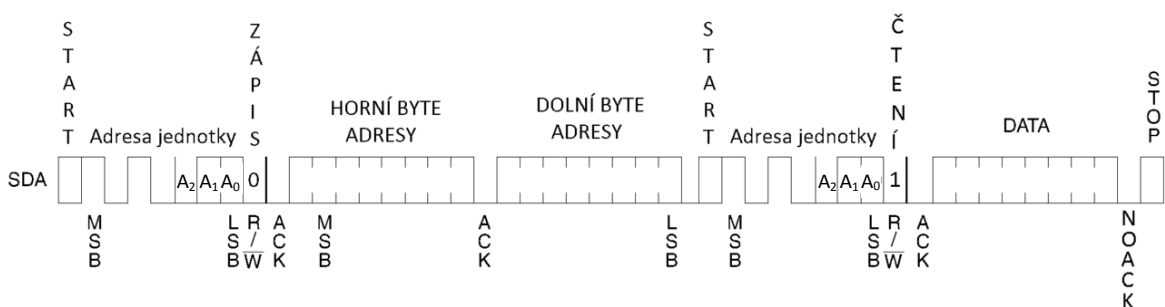
potvrzovací bit ACK. Poté může MCU poslat další byte, který bude opět potvrzen ACK bitem. Nakonec pošle MCU STOP bit, kterým ukončí celou komunikaci s EEPROM.



Obr.48 - sekvenční zápis dat do EEPROM

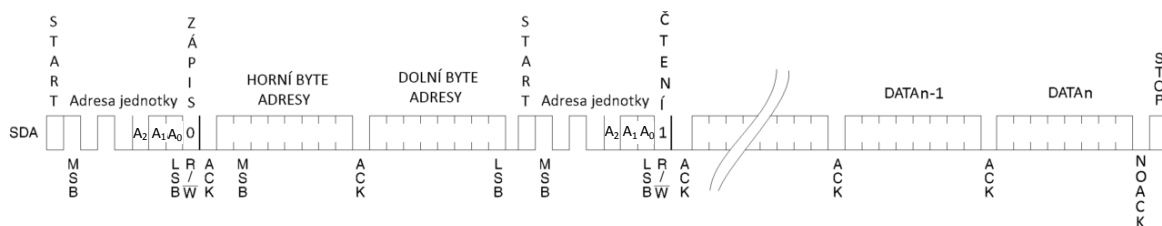
Čtení dat z paměti

Čtení dat z EEPROM je podobné jako zápis. Nejprve pošle MCU na sběrnici START bit, a po něm adresu EEPROM. EEPROM odpoví ACK bitem, a poté může MCU poslat adresu paměťové buňky, ze které chceme číst data. Adresa paměťové buňky je opět 16bitová, takže se stejně jako v případě zápisu pošle nejdříve horní byte, a po potvrzení ACK bitem je vyslán spodní byte adresy. Nyní je třeba EEPROM nastavit do režimu čtení. Opět je třeba vyslat na sběrnici START bit a adresu pro čtení. EEPROM by měla odpovědět ACK bitem, a poté odešle obsah zadané paměťové buňky. MCU neodpoví ACK bitem a celá komunikace se ukončí STOP bitem. Celý postup načtení dat z EEPROM je na Obr.49.



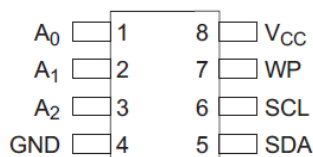
Obr.49 - čtení jednoho byte z EEPROM

Je-li požadováno čtení více dat, pak je postup téměř stejný, jako když se čte jeden byte. Rozdíl je v tom, že po přijetí dat z první adresované paměťové buňky do MCU, tento řídicí obvod odešle na sběrnici potvrzovací ACK bit, a EEPROM inkrementuje adresu paměťové buňky a pošle další byte z této nové adresy. Jestliže MCU po přijetí dat nepotvrdí přijetí, je čtení ukončeno, a MCU vyšle na sběrnici STOP bit. Sekvenční čtení může značně urychlit načtení většího množství dat, protože ji není třeba pokaždé adresovat paměťovou buňku, ze které se bude číst.



Obr.50 - sekvenční čtení dat z EEPROM

Rozmístění jednotlivých vývodů EEPROM je na Obr.44, a popis těchto vývodů je v Tab.4. Jak již bylo zmíněno v části týkající se určení adresy, jsou vývody č.1 až č.3 přizemněny. Vývod č.5 je připojen k I²C sběrnici, a sice k části určené pro data, a vývod č.6 je připojen „hodinovému“ signálu sběrnice I²C. Vývod č.7 slouží k ochraně dat proti zápisu. Když je na tento pin přivedeno V_{CC}, tak již není možno do paměti zapisovat. V této jednotce je vývod č.7 také přizemněn. Poslední vývod č.8 slouží jako napájecí.

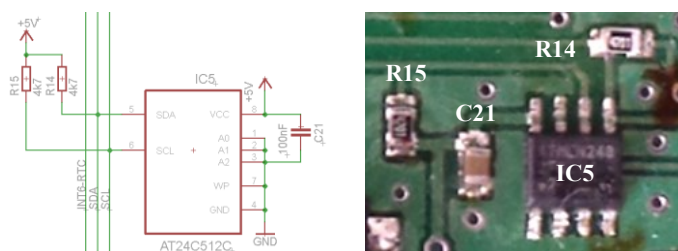


Obr.51 - popis pinů paměti AT24C512; zdroj [19]

Číslo pinu	Popis pinu	Funkce
1	A ₀	Nastavení adresy
2	A ₁	Nastavení adresy
3	A ₂	Nastavení adresy
4	GND	Zem
5	SDA	I ² C data
6	SCL	I ² C hodiny
7	WP	Ochrana proti zápisu
8	V _{CC}	Napájení

Tab.4 - popis funkcí pinů paměti AT24C512; zdroj [19]

Připojení EEPROM

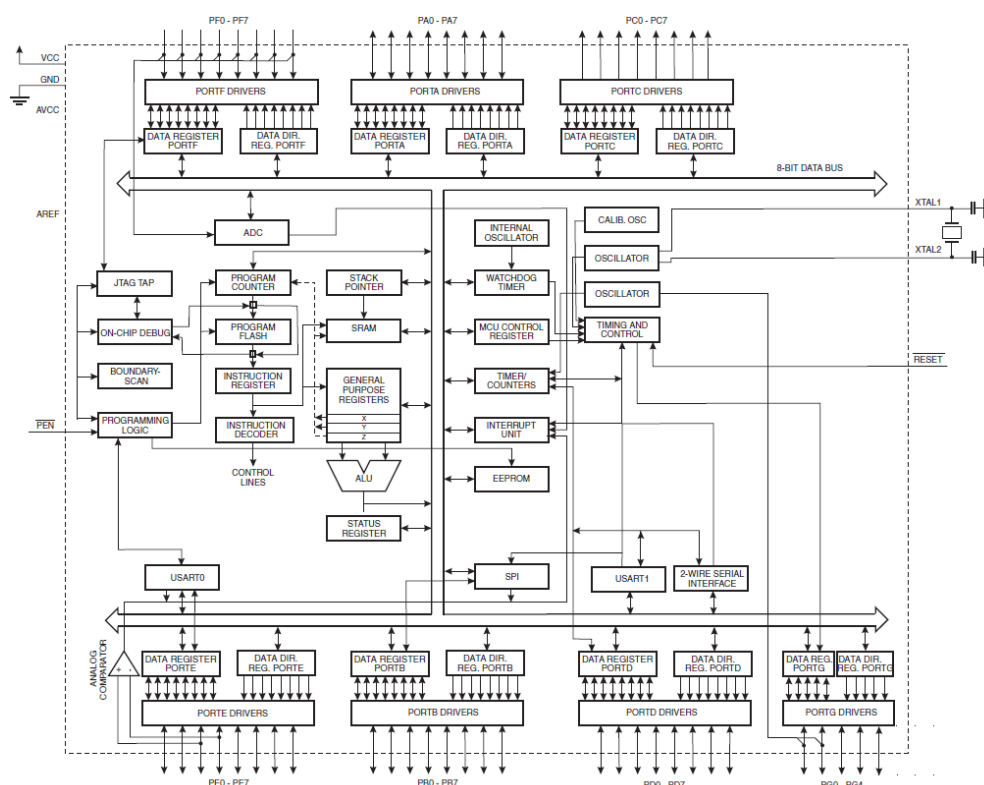


Obr.52 - připojení EEPROM k měřicí jednotce

Sériová paměť EEPROM je stejně jako obvod RTC napájen 5V. Také zde byl použit filtrační kondenzátor *C21*, která je připojen mezi napájení a uzemnění. Vývody č.1 - č.3, jimiž se nastavuje HW adresa paměti, jsou uzemněny. Uzemněn je také vývod č. 7, kterým se nastavuje ochrana EEPROM proti zápisu/přepisu uložených dat. Vývody č. 5 a č. 6 jsou napojeny na I²C sběrnici.

5.1.2.9 MCU

Srdcem měřicí jednotky je mikrokontrolér AVR ATMEGA64. Jedná se o osmibitový mikrokontrolér Kalifornské firmy ATMEL Corporation. Tento mikrokontrolér je postaven na RISC harvardské architektuře využívající celkem 130 instrukcí a 32 registrů, jejichž šířka je 8 bitů. MCU využívá 64kB programové FLASH paměti, 2kB EEPROM pro data a 4kB interní SRAM. Na Obr.53 je blokové schéma ATMEGA64.



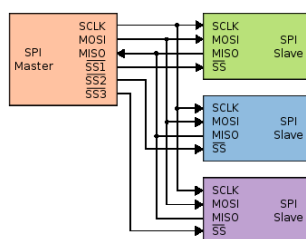
Obr.53 - blokové schéma ATMEGA64; zdroj [20]

Další periférie ATMEGA64 využitě v měřicí jednotce :

- SPI
- TWI (I²C)
- JTAG
- USART
- ADC
- TIMER/COUNTER
- INTERRUPT UNIT

SPI

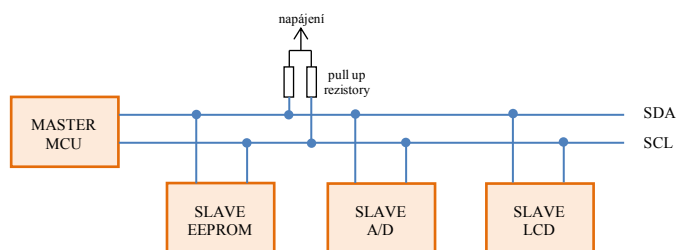
Jedná se o sériové rozhraní pro komunikaci s externími obvody (paměti, posuvné registry, A/D převodníky...). Toto rozhraní využívá sériovou sběrnici k propojení dvou, případně více obvodů. Jeden z propojených obvodů pracuje vždy v režimu „MASTER“ a ostatní v režimu „SLAVE“. Obvod pracující v režimu „MASTER“ generuje hodinový signál (SCLK), pomocí něhož je komunikace po sběrnici synchronizována. Sběrnici ještě tvoří dva vodiče označené jako MISO (Master Out Slave In) a MOSI (Master Out Slave In), pomocí nichž jsou přenášena data. SPI ještě využívá vodič označený jako SS (Slave Select), pomocí něhož se určuje, se kterým obvodem bude MASTER komunikovat. Tento vodič je používán i v případě, kdy jsou k sériové sběrnici připojeny pouze dva obvody. Způsob komunikace pomocí SPI lze nalézt v [21].



Obr.54 - způsob propojení obvodů na SPI; zdroj [22]

TWI

Název TWI využívá firma ATMEL Corporation pro sériovou sběrnici I²C. Na rozdíl od SPI, tvoří tuto sběrnici pouze dva vodiče SDA (Serial Data line) a SCL (Serial CLock line). Tyto vodiče musí být připojeny pomocí pull-up rezistorů k napájecímu napětí, aby byla sběrnice v době klidu udržována ve stavu H.



Obr.55 - způsob propojení obvodů na I²C sběrnici

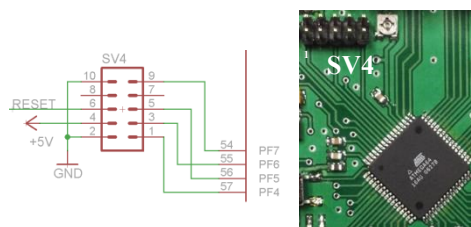
Jak je patrné z Obr.55, může být v jednom okamžiku pouze jedno zařízení v režimu MASTER a ostatní musí být v režimu SLAVE. Není však podmínkou, že musí být pouze jeden obvod vyčleněn jako MASTER. Jakmile se ukončí na sběrnici komunikace mezi zařízeními, může přejít do režimu MASTER jiný obvod, který byl doposud v režimu SLAVE. Rozdíl mezi komunikací pomocí I²C sběrnice a SPI spočívá také v tom, že u I²C musí být každému obvodu přiřazena adresa. Pomocí této adresy MASTER určí, se kterým obvodem bude komunikovat. Způsob časování a komunikace na I²C je popsán v [21].

Programování MCU

Mikrokontrolér použitý v této jednotce neumožňuje, aby byl v případě aktualizací SW z DPS vyjmut a vložen do programátoru. Aktualizaci programu lze provést dvěma způsoby.

- 1) pomocí rozhraní JTAG (IEEE 1149.1)
- 2) pomocí rozhraní ISP

JTAG rozhraní MCU je vyvedeno na konektor *SV4* umístěný pod stabilizátorem *U1* a konektorem pro LCD. Důvod proč se na DPS nachází toto rozhraní je takový, že je možno pomocí něj provádět testování programu s možností sledování proměnných přímo na měřicí jednotce.

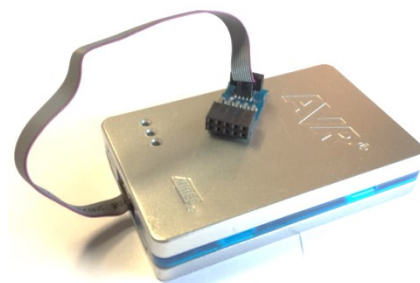


Obr.56 - JTAG rozhraní měřicí jednotky

Popis pinů konektoru SV4

pin č.1	TCK linka
pin č.2 a č.10	GND
pin č.3	TDO linka
pin č.4	+5V
pin č.5	TMS linka
pin č.6	RESET
pin č.7 a č.8	nezapojen
pin č.9	TDI linka

Konektor *SV4* je zapojen tak, aby bylo možno přímo připojit programátor AVR JTAGICE3.



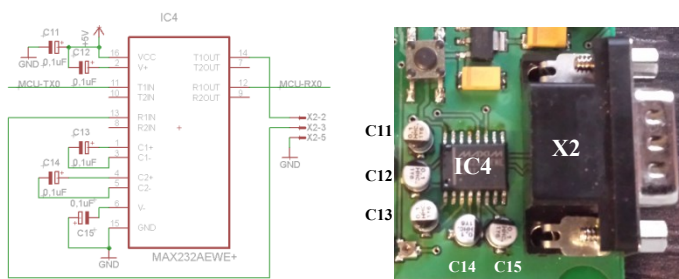
Obr.57 – AVR JTAGICE3 programátor

ISP rozhraní nelze použít, pokud je k jednotce připojen adaptér pro SD kartu. Podrobnější popis připojení ISP programátoru k MCU je rozebrán v kapitole 5.1.2.4.

5.1.2.10 Rozhraní RS232

Součástí měřicí jednotky je také rozhraní RS232. Toto rozhraní by mělo sloužit ke komunikaci jednotky s GSM modemem. Toto rozhraní není navrženo tak, aby využívalo HW signály zaslané z modemu (RTS,CTS...). Při návrhu měřicí jednotky byl předpoklad, že komunikace s modemem bude probíhat pouze na popud MCU, tzn. MCU vyšle příkaz pro modem, a ten následně odpoví.

Připojení RS232



Obr.58 - rozhraní RS232

Rozhraní RS232 tvoří obvod MAX232AWE+, který je napojen na periférii USART0 v MCU. Vývody z tohoto obvodu jsou přivedeny na konektor X2. Zapojení IC4 odpovídá zapojení doporučeném výrobcem obvodu.

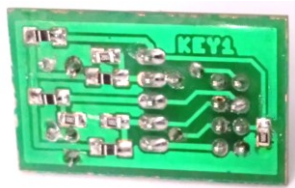
5.1.2.11 Klávesnice

K ovládání měřicí jednotky slouží jednoduchá klávesnice. Jedná se o polymerovou klávesnici 1x4 klávesy (Obr.59). Tato klávesnice je připojena k modulu „KEY1“.



Obr.59 - klávesnice

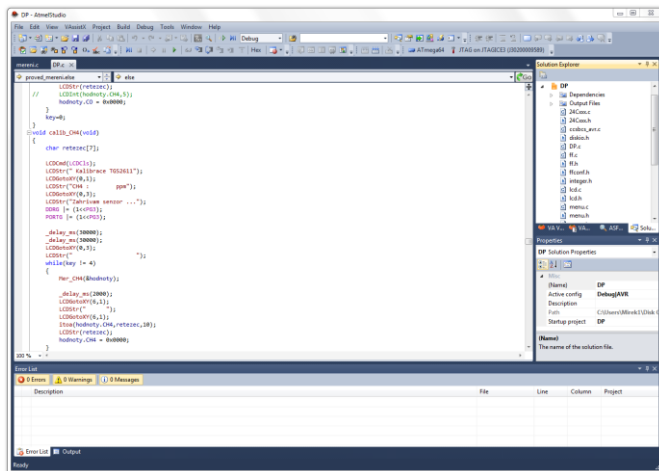
Modul „KEY1“ slouží jako mezičlánek mezi klávesnicí a základní deskou měřicí jednotky. Tento modul byl vytvořen z toho důvodu, že se při stisknutí kterékoliv klávesy vyvolá externí přerušení MCU, jehož obsluha vyčte z portu „C“ stav prvních čtyř pinů, a na základě zjištěného stavu určí, která klávesa byla stisknuta. Schéma, DPS a rozmístění součástek na modulu jsou v příloze E.



Obr.60 - modul KEY1

5.2 SW návrh

Návrh SW části měřicí jednotky byl vyvíjen ve vývojovém prostředí ATMEL STUDIO v6. Jedná se o vývojový nástroj, který produkuje přímo výrobce mikrokontrolérů. Z tohoto důvodu je jasné, že jsou zde podporovány všechny čipy vyráběné touto firmou. Atmel Studio je k dispozici zdarma, pokud se na webových stránkách firmy zaregistrujete. Další nespornou výhodou vývojového prostředí je schopnost nahrát přeložený program přímo do MCU pomocí HW programátoru, případně provést ladění programu přímo na MCU, pokud tuto funkci podporuje, a sledovat hodnoty jednotlivých registrů.

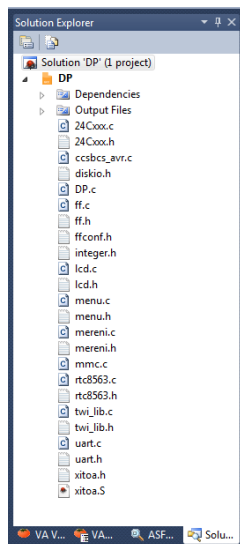


Obr.61 - vývojové prostředí Atmel Studio

Nevýhodou tohoto prostředí je jeho značná robustnost. Je to však daň za to, že se na jednom místě (vývojovém prostředí) nachází mnoho nástrojů, které může vývojář použít.

Struktura programu

Program pro měřicí jednotku byl při návrhu rozčleněn do několika souborů, které svým názvem vystihují, pro jaký účel je zdrojový kód určen. Firmware měřicí jednotky je složen z těchto souborů:



Obr.62 - struktura programu

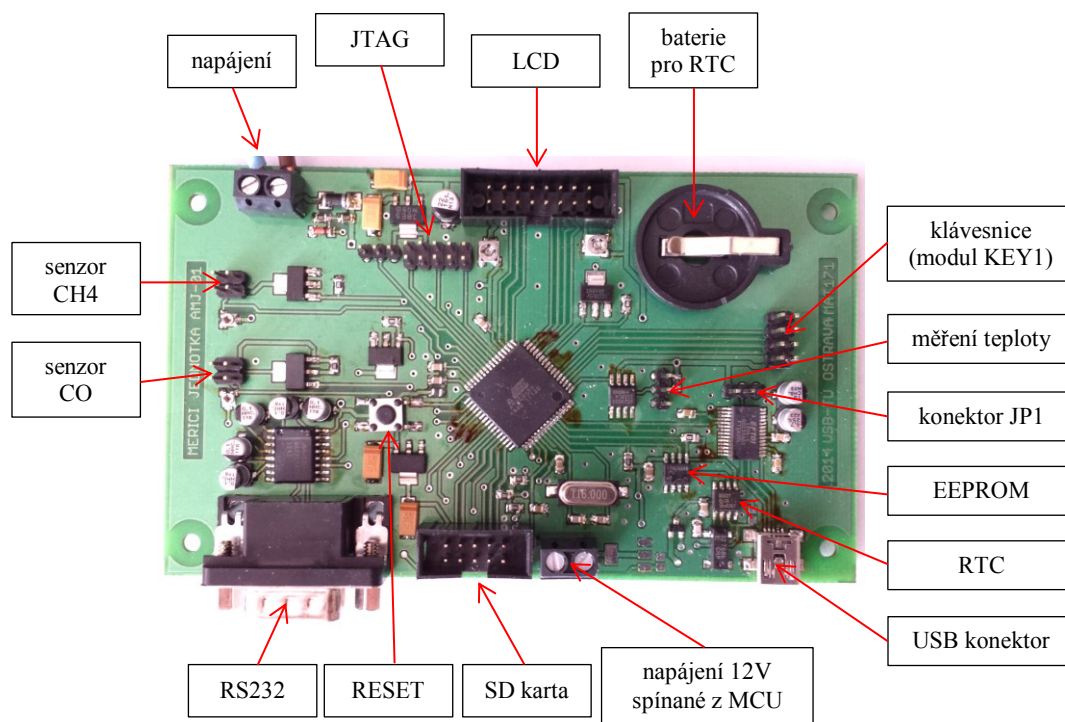
- DP.c - hlavní program.
- 24Cxxx.* - knihovna funkcí určena pro práci s použitou EEPROM.
- lcd.* - knihovna funkcí určena pro práci s LCD; knihovna nepodporuje oboustrannou komunikaci s LCD – pouze posílá příkazy a data.
- menu.* - knihovna funkcí určena pro práci s jednotlivými menu.
- mereni.* - knihovna funkcí určena pro měření a zpracování změřených hodnot.
- rtc8563.* - knihovna pro práci s obvodem PCF8563; vyžaduje ke své práci knihovnu „twi_lib.h“
- twi_lib.* - knihovna funkcí pro obsluhu I²C sběrnice.
- uart.* - knihovna funkcí pro obsluhu periférie USART.
- xittoa.* - knihovna externích I/O funkcí.

- diskio.h - knihovna s definicemi konstant určených pro práci s virtuální jednotkou.
- ff.* - knihovna funkcí určená pro práci se souborovým systémem FAT.
- ffconf.* - konfigurační soubor pro knihovnu ff.*.
- integer.h - definice datových typů použitých v knihovně ff.*.
- mmc.c - knihovna funkcí pro ovládání SD karty pomocí SPI.

Knihovny funkcí pro práci s SD kartou byly převzaty z [12]. Jedná se o projekt, který je zaměřen na práci s vestavnými systémy. Nespornou výhodou těchto knihoven je možnost nastavit si tyto knihovny tak, jak to uživatel potřebuje.

6 Realizace jednotky

Základem měřicí jednotky je základní deska. K této základní desce jsou připojeny všechny externí komponenty, jako jsou senzory, modul klávesnice, modul SD karty a jiné. Popis jednotlivých komponent, případně míst jejich napojení na základní desku je na Obr.63.

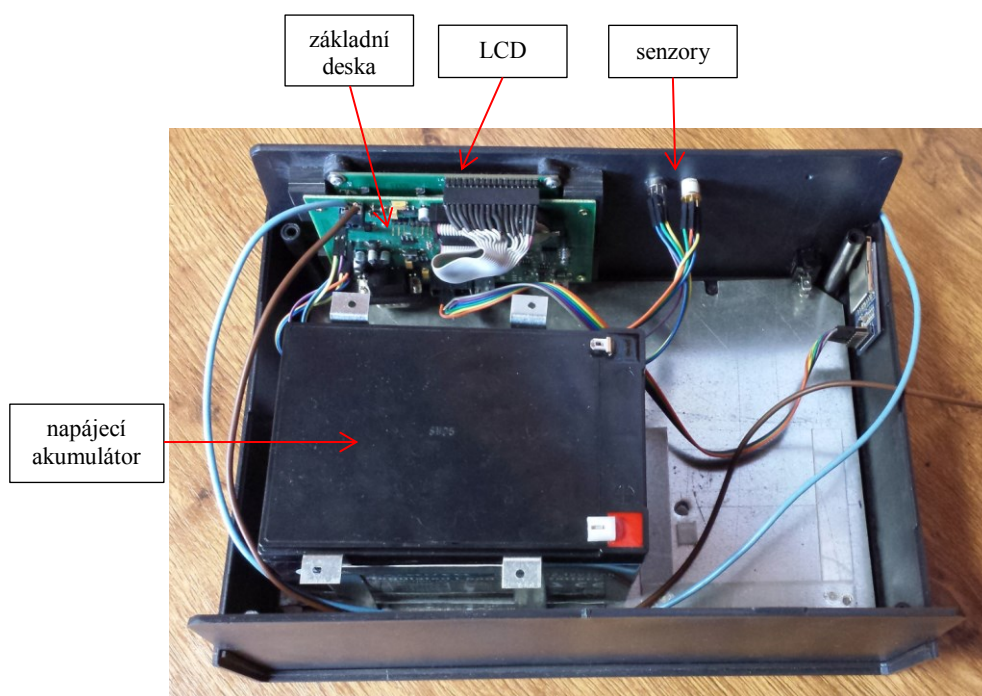


Obr.63 – základní deska měřicí jednotky

Základní deska je umístěna v plastové krabici KP 30. Do čela této krabice jsou udělány otvory pro LCD, senzory, hlavní vypínač a klávesnici. Další úpravou krabice bylo připevnění akumulátoru, který zajišťuje napájení. Tento akumulátor je připevněn plechového uchycení. Plech byl použit proto, že jde o poměrně těžký akumulátor, který by mohl případně plastové úchyty ulomit.



Obr.64 - hotová měřicí jednotka



Obr.65 - vnitřní část měřicí jednotky

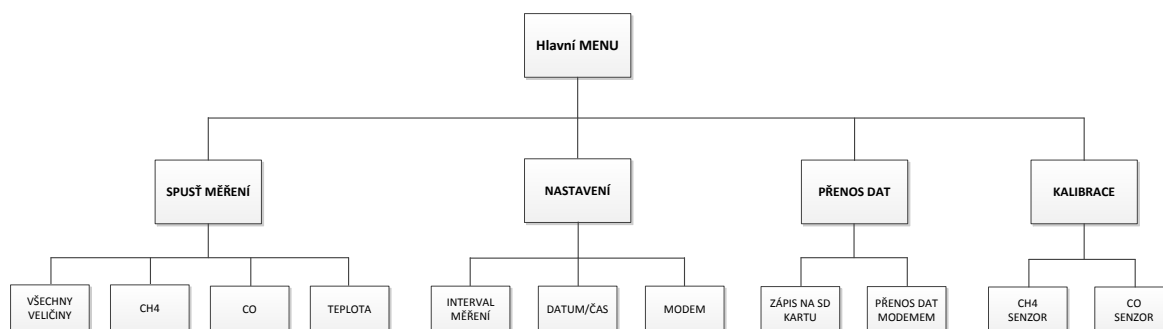
Na obrázku Obr.65 je vnitřní uspořádání měřicí jednotky. K čelnímu panelu jsou připevněny LCD a hned za ním také základní deska. V pravé části se nachází volný prostor pro případ, že by bylo nutno přidat druhý akumulátor, nebo nějaké další rozšíření této jednotky.

Obr.64 již zachycuje sestavenou jednotku připravenou k měření.

Ovládání jednotky

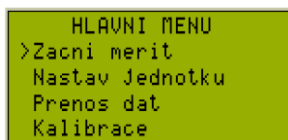
Měřicí jednotka je ovládána pomocí klávesnice na přední straně, pod LCD. Jedná se o externí klávesnici připojenou k modulu KEY1. Pomocí této klávesnice se může uživatel pohybovat v menu zobrazeném na displeji. Struktura tohoto menu je znázorněna na Obr.66.

Struktura menu v měřicí jednotce



Obr.66 - struktura položek v menu měřicí jednotky

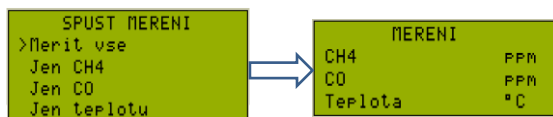
Jakmile je jednotka zapnuta, případně uživatel provede reset, spustí se firmware jednotky od „začátku“. Nejdříve je provedena inicializace jednotlivých periférií a následně „vstoupí“ program do smyčky, kterou lze ukončit pouze vypnutím jednotky, případně resetem. Vývojový diagram hlavního programu je zobrazen v příloze **G**. V případě, že nedojde při inicializaci k nějaké chybě, pak je vypsáno hlavní menu. V tomto menu se může uživatel pohybovat mezi jednotlivými položkami pomocí kláves **↓** nebo **↑**. Je-li vybrána požadovaná položka, pak musí uživatel tuto volbu potvrdit klávesou **ENT**. Bude-li uživatel v jiných částech menu, pak má možnost opustit aktuální menu pomocí klávesy **ESC**.



Obr.67 - hlavní menu

Popis jednotlivých položek menu

Výběrem první položky hlavního menu, vstoupí uživatel do menu „*SPUST MERENT*“. V tomto menu si může uživatel vybrat, jestli bude chtít měřit všechny veličiny (tzn. CH₄, CO a teplotu), případně jen jednu veličinu. Když je vybrána patřičná položka menu, zobrazí se na LCD obrazovka „*MERENT*“ a program vstoupí do smyčky, ve které je nejprve vytvořen soubor na SD kartě, je-li přítomná, případně je jednotka nastavená tak, aby ukládala naměřené hodnoty do EEPROM na základní desce. Do této paměti lze uložit maximálně 4095 měření. Pokud by měřicí jednotka pokračovala v měření, pak by došlo k přepisu údajů, které byly uloženy po započetí měření. V tomto případě se jedná o datové uložení, které po dosažení konce dostupného prostoru začne data ukládat opět od začátku. Jakmile je nastaven prostor pro ukládání naměřených hodnot, provede jednotka první měření, jehož výsledky zobrazí na LCD, a potom čeká, dokud není vyvoláno externí přerušení pomocí obvodu RTC. Výjimku tvoří pouze měření teploty, která je měřena a zobrazena každých 10 sekund, nezávisle na přerušení z RTC. Tento postup byl zvolen proto, že jsou v jednotce použity senzory, které jsou před samotným měřením zahřívány. Bohužel díky tomuto ohřevu dochází k poměrně velkému odběru elektrické energie. Naproti tomu digitální teploměr během měření neodebírá tolik energie.



Obr.68 - menu měření

Není-li vybráno měření všech veličin, tak položky, které nebyly vybrány, zůstanou bez hodnot. Například, když uživatel zvolí měření jen CH₄, pak řádek s hodnotou koncentrace CO nebude obsahovat žádnou hodnotu, a na displeji bude zobrazena jen hodnota koncentrace CH₄ a teploty.

Výběrem položky „*Nastav jednotku*“ vstoupí jednotka do menu „*NASTAVENI*“. Zde je možno vybrat jednu ze tří položek.

```
NASTAVENI
>Interval mereni
Datum/Cas
Modem
```

Obr.69 - menu nastavení

První položka „*Interval mereni*“ spustí podprogram, pomocí něhož lze nastavit, v jakých intervalech bude obvod RTC spouštět měření. Čas může uživatel měnit pomocí kláves ↓ nebo ↑ a pomocí klávesy **ENT** potvrdí svou volbu. Jednotka čeká na nastavení množství minut. Primárně je po zapnutí nastavena hodnota 5 minut.

```
zvys/sniz interval
interval : 0h 15min
```

Obr.70 - nastavení intervalu měření

Interval měření lze nastavit od 5 minut až po 4 hodiny a 15 minut. Horní hranice je takto určena proto, že obvod RTC používá 8 bitový registr pro uložení hodnoty intervalu, ve kterém vyvolá přerušení ($255/60 = 4,25$). Interval měření je možno nastavit ve třech pásmech.

- 1) 5 až 30 minut: v tomto intervalu je hodnota zvyšována/snižována po jedné minutě.
- 2) 30 až 60 minut: v tomto intervalu je prováděna změna s krokem 5 minut.
- 3) 1 až 4 hodiny 15 minut: v tomto intervalu se provádí změna po 15 minutách.

K tomuto kroku mne vedl fakt, že by uživatel v případě potřeby nastavení intervalu například na 3 hodiny, mačkal klávesnici velmi dlouho, pokud by byl interval měření nastavován po jedné minutě.

Druhá položka „*Datum/Cas*“ spustí podprogram, pomocí kterého lze nastavit aktuální datum a čas. Nejprve je od uživatele očekáváno, že nastaví datum. Hodnoty datumu a času jsou vyčteny z obvodu RTC. Pokud je na základní desce připevněná funkční baterie (CR2032), pak již v případě, že byly tyto hodnoty nastaveny, není třeba datum ani čas nastavovat.

```
Zadej datum
25.04.2014

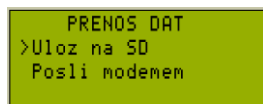
Zadej cas
12:32:00
```

Obr.71 - nastavení datum/čas

Změna hodnot je opět prováděna pomocí kláves ↓ nebo ↑ a pomocí klávesy **ENT**. Nastavení je třeba provést pro každou položku zvlášť, případně jen potvrdit aktuální hodnotu. Datum nelze nastavit na hodnotu, která neexistuje (např. 30. 2. 2014).

Třetí položka „Modem“ není v této verzi firmware přístupná.

Položka „Prenos dat“ v hlavním menu vstoupí do menu „PRENOS DAT“. V tomto menu je možno aktuálně využívat první položku, pomocí které jsou přenesena všechna data z EEPROM na SD kartu. Název souboru je vytvořen z aktuálního data a času (viz. 5.1.2.4).

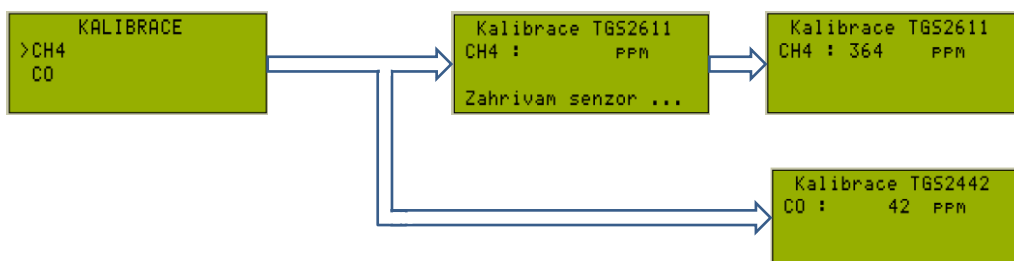


Obr.72 - menu pro přenos dat z EEPROM

Položka „Posli modemem“ není v této verzi firmware aktivní.

Poslední položkou v hlavním menu je „Kalibrace“. V této nabídce lze provést kalibraci senzorů TGS2611 a TGS2442.

Výběrem položky „CH4“ z menu „KALIBRACE“ je spuštěn podprogram, pomocí kterého lze nastavit měřicí jednotku tak, aby byla zobrazována hodnota na LCD shodná s hodnotou, která by měla být naměřena. Postup kalibrace je takový, že je nejdříve zapnuto zahřívání senzoru po dobu jedné minuty. Potom se začne měřit vlastní koncentrace referenčního plynu. Vlastní měření je prováděno tak, že po provedení výpočtu jednotka počká 1 sekundu a opět provede měření. Tento proces je možno přerušit stiskem klávesy **ESC**.



Obr.73 - menu kalibrace

Položka „CO“ spustí podobný proces jako v případě kalibrace CH₄ s tím rozdílem, že na začátku kalibrace není spuštěno zahřívání daného senzoru.

Když uživatel provádí kalibraci, tak si měřicí jednotka nehlídá napětí na napájecím akumulátoru. Z tohoto důvodu by se neměla kalibrace provádět, když už je tento akumulátor vybitý (když je prováděno měření, tak je napětí hlídáno a v případě, že napětí klesne na hodnotu 10,8V, tak již měření neprovede).

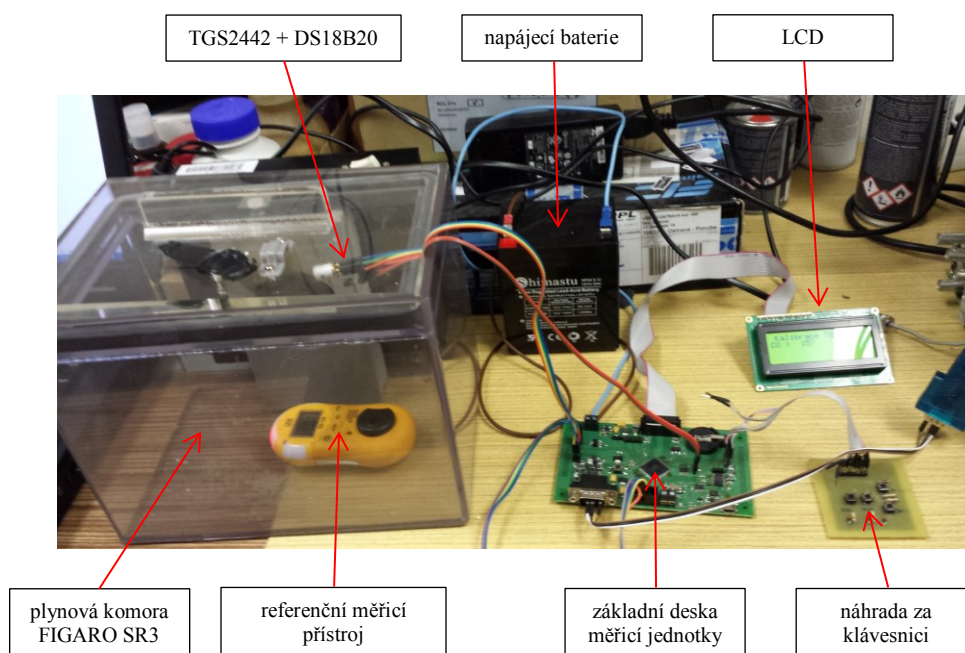
7 Kalibrace, testování jednotky

Nedílnou součástí návrhu a vytvoření jakékoliv měřicí jednotky je její testování a kalibrace. Bez kalibrace bychom nebyli schopni využívat měřicí jednotku k relevantnímu měření. Také testování jednotky lze označit za jednu z vývojových fází. Kdyby nebyla jednotka otestována v reálném provozu, tak bychom o ní nemohli prohlásit, že byl návrh a vytvoření této jednotky úspěšný.

7.1 Kalibrace

Kalibrace měřicí jednotky byla rozdělena do dvou fází. V první fázi byla provedena kalibrace senzoru TGS2442 a v druhé fázi byla provedena kalibrace senzoru TGS2611. Kalibrace digitálního teploměru DS18B20 provedena nebyla, protože to z technického hlediska není možné. Tento teploměr je kalibrován v závěrečné fázi výroby.

7.1.1 Kalibrace TGS2442



Obr.74 - kalibrace TGS2442

Na Obr.74 je zobrazeno a popsáno „pracovní prostředí“, ve kterém byla provedena kalibrace senzoru TGS2442.

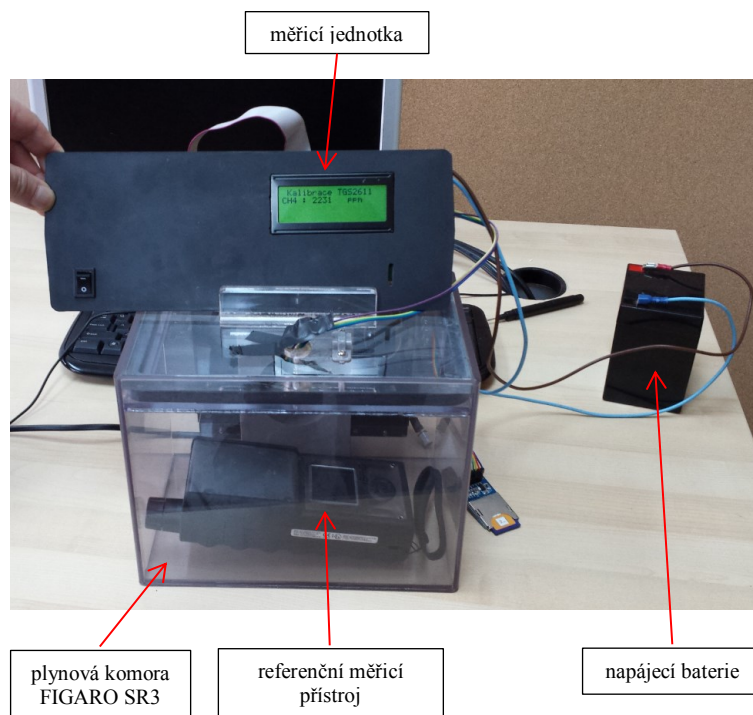
Kalibrace výše zmíněného senzoru byla provedena v plynové komoře (viz. obrázek), pomocí níž bylo zajištěno, že bude ve všech částech této komory stejná koncentrace měřené plyné směsi. Vzhledem k tomu, že nebyla k dispozici „čistá směs“ oxidu uhelnatého a vzduchu, proto byla použita náhrada za tuto směs. Jako náhrada byla použita vonná tyčinka, která byla po zapálení a zahoření vložena do plynové komory. Jakmile referenční měřicí přístroj detekoval 300ppm oxidu uhelnatého, byla tato vonná tyčinka vyjmuta z plynové komory. Následně byla provedena korekce napětí snímaného A/D převodníkem MCU, pomocí trimru *R11* na hodnotu, která po výpočtu v MCU, odpovídala hodnotě naměřené referenčním měřicím přístrojem. Kalibrace měřicí jednotky se však poprvé nezdařila, protože byla v programu chyba. Tato chyba byla po připojení osciloskopu následně identifikována a odstraněna. Druhý pokus o kalibraci byl proveden s přenosným

detektorem GD 500 (není na Obr.74), ke kterému byla připojena sonda PS 56. Následně byla nastavena na měřicí jednotka tak, aby byly hodnoty na obou zařízeních přibližně stejné. Když bylo těchto hodnot dosaženo, byla v plynové komoře postupně snižována hodnota CO. Díky tomuto snižování koncentrace bylo možno ověřit nastavení měřicí jednotky i pro nižší koncentrace CO.

Během procesu kalibrace měřicí jednotky se nepodařilo dosáhnout úplné shody hodnot naměřených referenčním měřicím přístrojem a měřicí jednotkou. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami mezi referenčním měřicím přístrojem a měřicí jednotkou byl 9ppm.

7.1.2 Kalibrace TGS2611

Kalibrace TGS2611 byla provedena podobně jako u TGS2442. Stejně jako v předchozím případě i zde byla použita plynová komora FIGARO SR3. Stejný byl i referenční detektor GD 500 s tím rozdílem, že byla použita sonda PS51. Bohužel během prvního pokusu o kalibraci došlo k technickým potížím s referenčním detektorem, proto byla měřicí jednotka nastavena jen částečně.

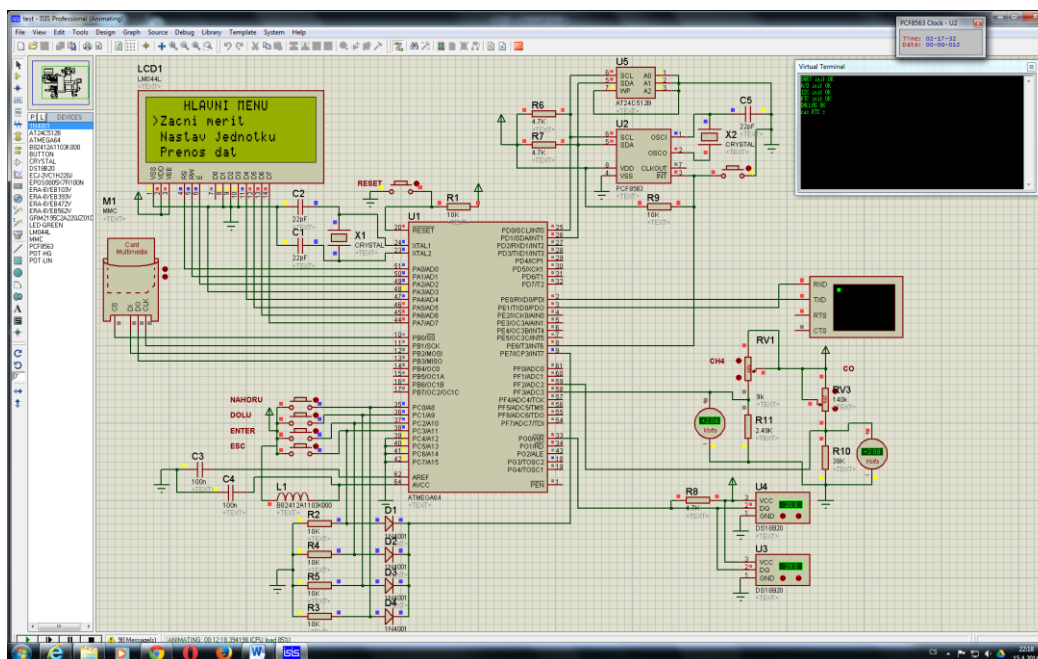


Obr.75 – kalibrace TGS2611

U druhého pokusu o kalibraci byl použit jiný referenční detektor, a sice IBRID™ MX6. Pomocí tohoto detektoru se již podařilo měřicí jednotku nastavit tak, aby byla naměřená hodnota relativně stejná jako hodnota změřená referenčním detektorem. Rozdíl mezi oběma přístroji byl po kalibraci 0,03%.

7.2 Testování

V počátcích vývoje měřicí jednotky, kdy ještě nebyla k dispozici základní deska, probíhalo testování SW v programu ISIS, z programového balíku Proteus Design Suite [23] od společnosti Labcenter Electronics. Program ISIS nabízí obrovské množství součástek, ale také přístrojů a různých funkčních celků, které dokáže simulovat v obvodech navržených vývojářem. Obrovskou výhodou pro mne byla možnost nahrát přeložený program do virtuálního MCU.



Obr.76 - simulační program ISIS Proteus

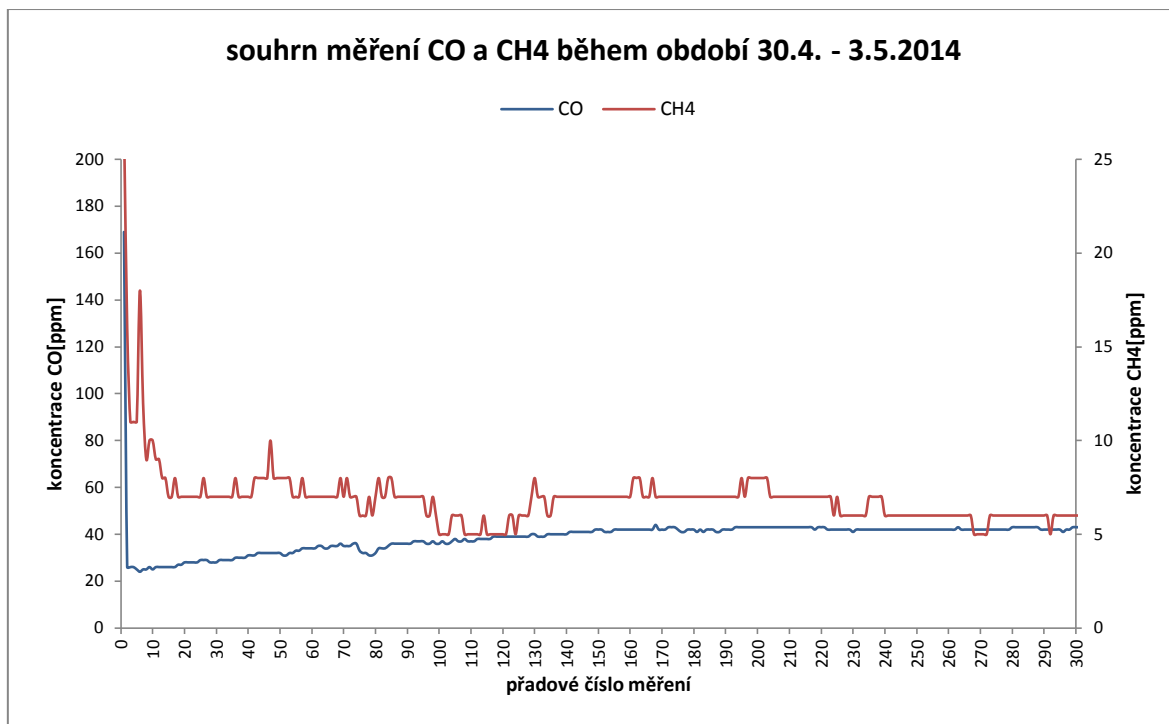
Obrovskou výhodou pro mne byla možnost nahrát přeložený program do virtuálního MCU. Díky této možnosti bylo možno v přeloženém programu odhalit množství chyb bez toho, aby byl použit reálný HW. Při testování přeloženého programu jsem však zjistil, že v mnou použité verzi nebylo možno použít komponentu „Multimedia Card“, i když v použitém příkladu pracovala bez problémů. Ostatní použité komponenty již program dokázal bez problému nasimulovat. Funkčnost komunikace mezi základní deskou měřicí jednotky a modulem SD karty proto byl odzkoušen až na reálném HW.

Jakmile byly vytvořeny všechny komponenty měřicí jednotky, pak již probíhalo testování na těchto komponentách.

Funkčnost a reálný provoz jednotky byl testován v lampovně Dolu Paskov. Jednotka byla umístěna v místnosti, v níž je kontrolována funkčnost detekčních přístrojů, především však interferometru. Tento prostor byl zvolen proto, že je zde v době kontroly detektorů mírně zvýšená koncentrace metanu, pomocí kterého je prováděna kontrola.

Výsledky testovacího provozu

Měřicí jednotka byla nastavena tak, aby se provedlo měření každých 15 minut. Měření probíhalo po dobu tří dnů. Jednotka byla umístěna na skříni vedle stolu, na kterém probíhá kontrola měřicích přístrojů. Výsledky měření jsou zobrazeny v přílohách „naměřené hodnoty“ a „grafy měření“. Souhrn naměřených hodnot změřených v průběhu čtyř dnů je zobrazen v grafu na Obr.77.



Obr.77 - graf naměřených hodnot v době testování jednotky

8 Zhodnocení, závěr

Úkolem této práce bylo navrhnout a sestavit měřicí jednotku, která bude měřit teplotu a koncentraci výbušných plynů. Později bylo zadání upřesněno tak, že by měla jednotka měřit koncentraci metanu a oxidu uhelnatého. Také bylo definováno, že k měření metanu bude použito senzoru TGS2611 a pro měření oxidu uhelnatého TGS2442.

K vyřešení tohoto úkolu bylo třeba nastudovat velké množství dostupných materiálů a technických dokumentací. Zvláště u senzorů TGSxxxx firmy Figaro Engineering Inc., vyvstal velký problém s dokumentací k těmto senzorům. Na internetových stránkách výrobce jsou sice informace k těmto senzorům, ale v případě senzoru TGS2611 již nebylo uvedeno, jakým způsobem přepočítat hodnotu odporu senzoru na koncentraci. V dokumentaci sice je graf závislosti odporu na koncentraci, ale vzhledem k tomu, že obě osy mají logaritmické měřítko, proto nelze určit přesné hodnoty. Z tohoto důvodu by byl výpočet koncentrace metanu příliš nepřesný. Tuto „chybu“ výrobce senzoru vyřešili autoři v [16]. Díky výpočtu z tohoto zdroje již nebyl problém určit správnou koncentraci. Při konstrukci měřicí jednotky jsem však opomenul vyřešit teplotní kompenzaci tohoto senzoru, takže výpočet je sice správný, ale v případě větších teplotních rozdílů může být výsledek mírně odlišný od skutečnosti. V případě senzoru pro měření koncentrace oxidu uhelnatého je teplotní kompenzace provedená softwarově na základě informací od výrobce.

Během návrhu mne také překvapilo, jak velké množství paměti je třeba pro zdrojový kód, který obsluhuje SD kartu. Proto bylo nutno použít mikrokontrolér s větší velikostí paměti. Z tohoto důvodu jsem použil MCU ATmega64. U MCU mne překvapilo, že jej výrobce nastavuje do režimu kompatibility s jiným typem. Tato skutečnost mne poněkud zdržela, protože MCU po nahrání programu do vnitřní paměti pracoval trochu jinak, než od něj bylo požadováno.

Kalibrace měřicí jednotky byla provedena pomocí referenčních měřicích přístrojů. Kalibrace senzoru TGS2442 byla provedena ve dvou krocích. První pokus o nastavení bohužel selhal, protože bylo v programu špatně nastaveno měření pomocí tohoto senzoru. Druhý pokus o nastavení již proběhl v pořádku. Podobně probíhalo nastavení senzoru TGS2611. Během prvního pokusu o nastavení bohužel došlo k poruše referenčního přístroje. Podruhé již proběhlo nastavení bez problémů.

Dle mých představ v návrhu, měla být měřicí jednotka schopna také zasílat naměřená data na server v internetu pomocí GSM modemu. Z výše popsaných problémů vzniklo poměrně velké zpoždění ve vývoji jednotky, a proto není tato funkce aktuálně implementována, i když je k dispozici rozhraní RS232 pro připojení modemu. Komunikaci lze implementovat po úpravě firmwaru.

Na závěr lze říci, že jsem byl při návrhu a realizaci úspěšný, i když se mi nepodařilo zprovoznit komunikaci měřicí jednotky s internetem. Ostatní funkce jednotky však již byly realizovány a posléze také odzkoušeny.

9 Seznam použité literatury

1. KREIDL, M. *Měření teploty, senzory a měřicí obvody*. Praha: BEN-technická literatura, 2005, 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
2. ČSN EN 60079-29-2. Praha: Český normalizační institut, 2008
3. WIKIPEDIA. In: [online]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Pam%C4%9B%C5%A5ov%C3%A1_karta
4. ING.KOŘÍNEK, K. a Z. A.K. ING. KAŇOKOVÁ. *Ochrana před výbuchy plynů, par a prachů analyzátory plynů detekční přístroje*. 1. Praha: GAS s.r.o., 2006. ISBN 80-7328-096-5.
5. ČSN EN 60079-0. Praha: Český normalizační institut, 2010. Třídící znak ed.3
6. CADSOFT COMPUTER GMBH. *CadSoft EAGLE PCB Design Software* [online]. © 2012 [cit. 2013-6-20]. Dostupné z: <http://www.cadsoft.de/?language=de&lang=de>
7. TEXAS INSTRUMENTS. LM1117-5.0 DATASHEET. In: [online]. [cit. 2014-3-1]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117-n.pdf>
8. SAMSUNG ELECTRONICS. S6A0069 DATASHEET. In: [online]. © 2000 [cit. 2014-2-5]. Dostupné z: http://datasheet.eeworld.com.cn/pdf/93805_SAMSUNG_S6A0069.html
9. MAXIM. DS18B20. In: [online]. [cit. 2013-1-5]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
10. SD CARD ASSOCIATION. Physical Layer Simplified Specification. In: [online]. © 2013 [cit. 2014-2-20]. Dostupné z: https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified_specs/part1_410.pdf
11. ATMEL. AVR910: In-System Programming. In: [online]. [cit. 2014-Leden-5]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc0943.pdf>
12. ELM-CHAN.ORG. HOW TO USE MMC/SDC. In: [online]. © 2013 [cit. 2014-1-1]. Dostupné z: http://elm-chan.org/docs/mmc/mmc_e.html
13. FIGARO ENGINEERING INC. TECHNICAL INFORMATION FOR TGS2442. In: [online]. © 2007 [cit. 2014-2-2]. Dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-SL3/DSASL0056605.pdf>
14. FIGARO ENGINEERING INC. APPLICATION NOTES FOR TGS2611. In: [online]. © 2012 [cit. 2014-2-2]. Dostupné z: <http://www.figarosensor.com/products/2611app.pdf>
15. FIGARO ENGINEERING INC. CALIBRATION OF TGS2442. In: [online]. © 2001 [cit. 2013-12-2]. Dostupné z: <http://www.figarosensor.com/products/signal.pdf>
16. IONEL, S., C. R. IONEL a A. GONTEAN. Virtual Instrumentation with Mobile Device Control for Methane Concentration Measurements. In: *ICIW 2012, The Seventh International Conference on Internet and Web Applications and Services*, sv. article iciw_2012_7_20_20161. Stuttgart, Germany: Friedrich Laux, Reutlingen-University, Germany, 2012, s. 200-206. ISBN 978-1-61208-200-4.
17. FIGARO ENGINEERING INC. PRODUCT INFORMATION FOR TGS2611. In: [online]. © 2005 [cit. 2014-1-6]. Dostupné z: <http://www.figarosensor.com/products/2611pdf.pdf>
18. NXP. PCF8563 DATASHEET. In: [online]. [cit. 2014-Leden-29]. Dostupné z: <http://>

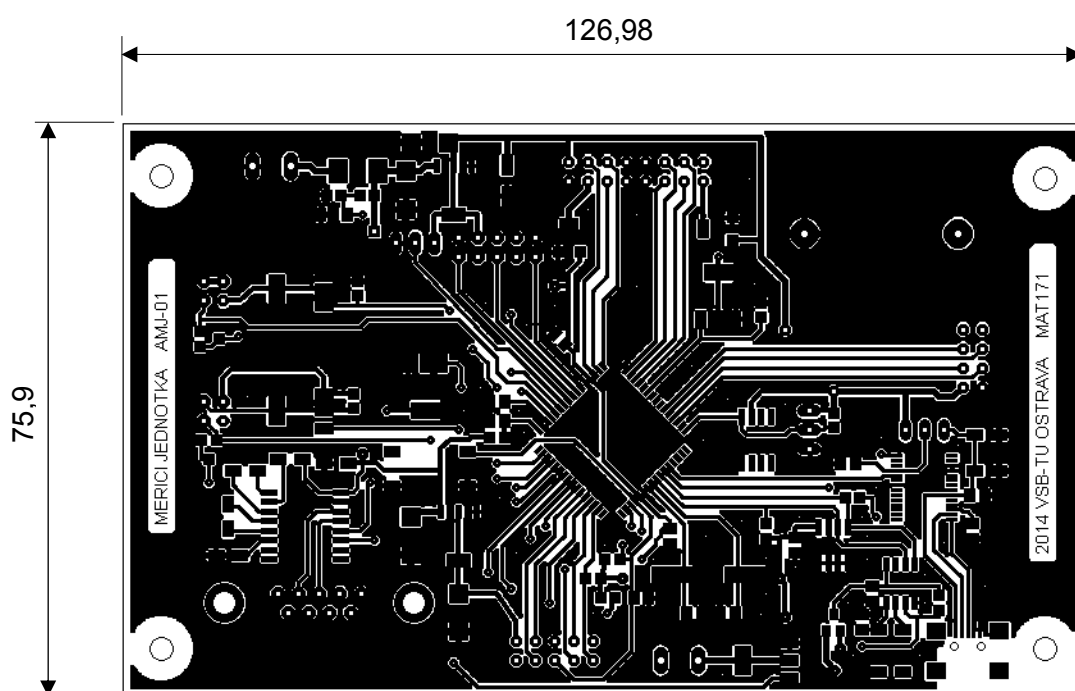
www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8563.pdf

19. ATMEL. AT24C512C. In: [online]. [cit. 2013-Leden-18]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/Atmel-8720-EEPROM-AT24C512C-Datasheet.pdf>
20. ATMEL. ATMEGA64. In: [online]. [cit. 2013-Leden-18]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2490.pdf>
21. ROOT.CZ. *Externí sériové sběrnice SPI a I²C* [online]. © 2008 [cit. 2013-11-10]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbornice-spi-a-i2c/>
22. WIKIPEDIA. *Serial Peripheral Interface* [online]. © 2014 [cit. 2014-2-15]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
23. LABCENTER ELECTRONICS. *Profesional PCB Design and Simulation Software* [online]. [cit. 2013-11-5]. Dostupné z: <http://www.labcenter.com/index.cfm>
24. HW.CZ. *Sběrnice I-wire* [online]. [cit. 2013-Leden-1]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/sbornice-1-wiretm.html>
25. MARTINEK, R. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 199 s. ISBN 978-80-7300-354-8.
26. MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR*. 2.vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-209-4.
27. MANN, B. *C pro MIKROKONTROLÉRY*. Překlad Václav LOSÍK. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-077-6.
28. MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR ATmega16*. 1.vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-174-8.

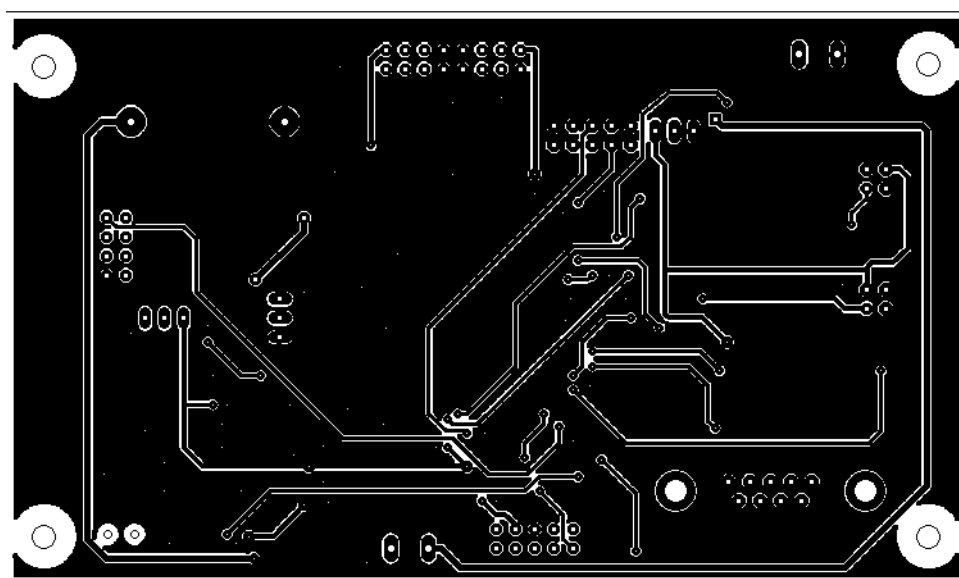
Seznam příloh

Příloha A – DPS základní desky	ii
Příloha B – Osazení základní desky	iii
Příloha C – Schéma základní desky	iv
Příloha D – Teplotní kompenzace TGS2442	v
Příloha E – Komunikace na sběrnici 1-WIRE®	vi
Příloha F – Modul KEY1, schéma + DPS	viii
Příloha G - Vývojový diagram hlavního programu	ix
Příloha H – Naměřené hodnoty	x
Příloha I – Grafy měření	xiv

Příloha A – DPS základní desky

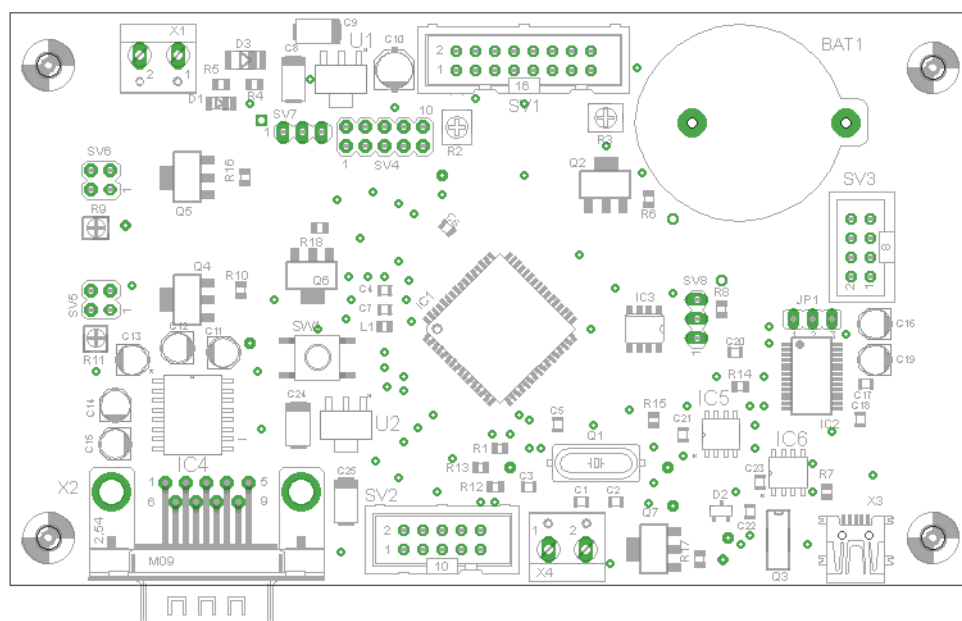


DPS - horní strana základní desky



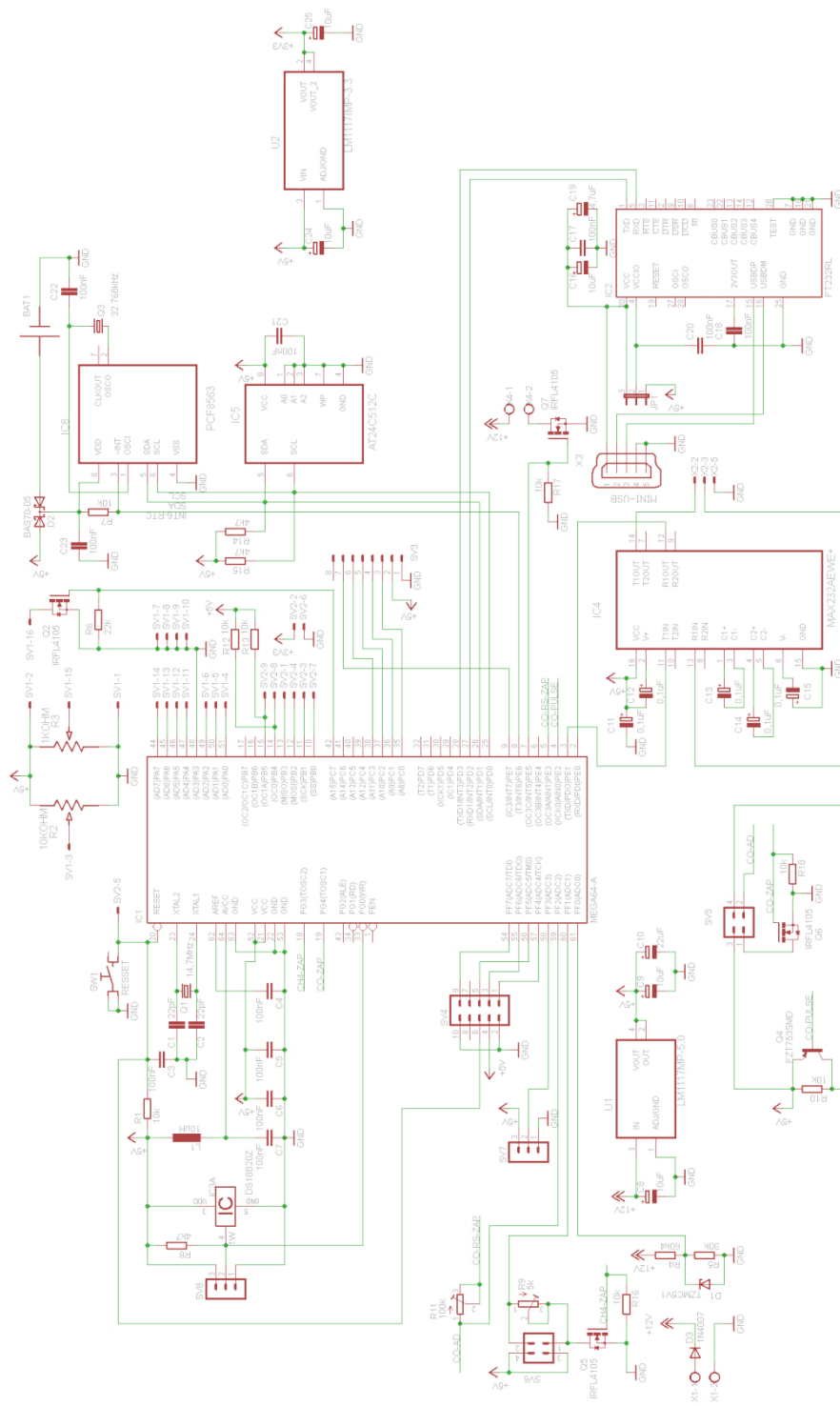
DPS - spodní strana základní desky

Příloha B – Osazení základní desky



rozmístění součástek na základní desce

Příloha C – Schéma základní desky



Příloha D – Teplotní kompenzace TGS2442

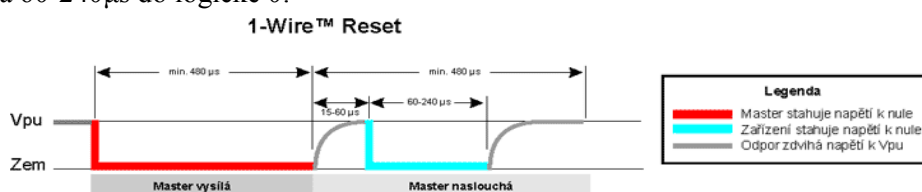
teplota (°C)	teplotní koeficient
-10	2,72
-9	2,64
-8	2,56
-7	2,49
-6	2,41
-5	2,34
-4	2,26
-3	2,19
-2	2,12
-1	2,06
0	1,99
1	1,93
2	1,87
3	1,81
4	1,76
5	1,70
6	1,65
7	1,60
8	1,55
9	1,51
10	1,46
11	1,42
12	1,38
13	1,34
14	1,30
15	1,27
16	1,24
17	1,20
18	1,17
19	1,14
20	1,12
21	1,09
22	1,07
23	1,04
24	1,02
25	1,00

teplota (°C)	teplotní koeficient
26	0,98
27	0,961
28	0,943
29	0,926
30	0,909
31	0,894
32	0,879
33	0,865
34	0,852
35	0,839
36	0,827
37	0,816
38	0,805
39	0,795
40	0,786
41	0,776
42	0,768
43	0,759
44	0,752
45	0,744
46	0,737
47	0,73
48	0,724
49	0,718
50	0,712
51	0,706
52	0,701
53	0,696
54	0,692
55	0,687
56	0,683
57	0,679
58	0,675
59	0,671
60	0,668

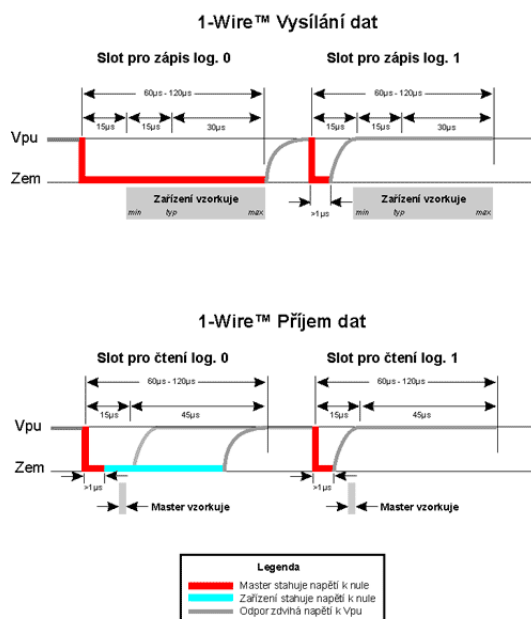
Příloha E – Komunikace na sběrnici 1-WIRE[®]

Komunikace po sběrnici 1-WIRE[®] probíhá tak, že je zde jedno zařízení master, které ovládá jedno, nebo více slave zařízení. Všechny obvody jsou připojeny ke společnému zemnicímu vodiči. K druhému, datovému vodiči jsou všechna zařízení připojena paralelně. Tento datový vodič je připojen k napájení přes tzv. „pull-up“ rezistor s hodnotou 4,7kΩ.

Komunikace je vždy zahájena MCU, které vyšle tzv. reset puls. Nejprve uvede datový vodič na sběrnici do logické 0, kde tento stav „podrží“ minimálně 480μs. Poté sběrnici uvolní a „naslouchá“. Pomocí pull-up rezistoru se na datovém vodiči objeví logická 1. Jestliže je ke sběrnici připojeno nějaké 1-wire[®] zařízení, pak tuto změnu na logickou 1 detekuje, a po prodlevě 15-60μs stáhne sběrnici na 60-240μs do logické 0.



Jestliže se slave zařízení ohlásí, může MCU začít vysílat a přijímat data. Data jsou po sběrnici posílána v určitých časových úsecích, kdy tento časový úsek je dlouhý 60-120μs, kdy je vyslán, nebo přijat jeden bit. Mezi jednotlivými úseky musí být minimálně 1μs mezera, kdy by měla být sběrnice v klidu. Na sběrnici jsou používány 4 druhy slotů, a sice zápis/čtení logické 0 a zápis/čtení logické 1.



Zápis logické 0 probíhá tak, že MCU stáhne sběrnici k logické 0 a ponechá ji v tomto stavu minimálně 60μs. Teplotní čidlo začne vzorkovat stav sběrnice po zhruba 30μs. Zápis logické 1

probíhá obdobně. MCU stáhne sběrnici k logické 0 na minimálně 1 μ s a po 15 μ s od počátku ji opět uvolní a nechá uvolněnou.

příkaz	kód	popis
READ ROM	0x33	příkaz umožní načíst z paměti teplotního čidla 8 bajtů; příkaz nesmí být použit, pokud je na sběrnici 1-WIRE [®] více zařízení
MATCH ROM	0x55	zasláním tohoto příkazu a následně 64 bitového kódu dovolí MCU komunikovat pouze s jedním zařízením; všechna ostatní zařízení na sběrnici budou čekat na reset sběrnice
SKIP ROM	0xCC	MCU může tento příkaz použít těsně po resetu k tomu, aby dalším příkazem oslovil všechna zařízení na sběrnici, bez nutnosti použít další kódovací informace (například je možné přikázat všem čidlům, aby provedly teplotní konverzi pomocí sekvence příkazů 0xCC, 0x44; příkaz šetří čas při komunikaci, ale nesmí být použit v souvislosti s příkazy pro čtení, když je na sběrnici více zařízení)
ALARM SEARCH	0xEC	operace tímto příkazem je stejná jak operace příkazem SEARCH ROM kromě toho, že budou odpovídat pouze čidla s nastaveným příznakem alarm. Tento příkaz umožní MCU zjistit, zda nějaké teplotní čidlo splnilo podmínku „alarmu“ v posledním teplotním převodu. Po každém cyklu ALARM SEARCH musí být provedena inicializace sběrnice.
SEARCH ROM	0xF0	po zapnutí napájení musí MCU identifikovat ROM kódy všech SLAVE zařízení na sběrnici. MCU se „naučí“ ROM kódy během procesu vyloučení (eliminace), který vyžaduje k vykonání SEARCH ROM cyklu a následná výměna dat bude tolikrát, kolikrát je potřeba k identifikaci všech čidel. Když je na sběrnici pouze jedno čidlo, může být použit místo příkazu SEARCH ROM příkaz READ ROM. Po každém cyklu SEARCH ROM se musí provést reset sběrnice.

příkaz	kód	popis
CONVERT T	0x44	příkaz zahájí převod teploty - výsledná „teplotní“ data se uloží do dvou 8bit registrů ve scratchpad paměti a čidlo se vrátí do „klidového stavu“ (bude čekat na inicializační sekvenci). Když je zařízení zapojeno v parazitním režimu, MCU musí během 10 μ s po tomto příkazu uvolnit 1-WIRE [®] sběrnici, aby se na sběrnici „udělala“ log.1 a čidlo se mohlo napájet po dobu konání převodu.
COPY SCRATCHPAD	0x48	příkaz zkopíruje obsah paměti scratchpad TH, TL a konfigurační registr (byte 2, 3 a 4) do EEPROM v čidlu. Když je čidlo používáno v parazitním módu, během 10 μ s po tomto příkazu musí MCU uvolnit 1-WIRE [®] sběrnici (aby se na sběrnici „udělala“ log.1 a čidlo se mohlo napájet) nejméně na 10ms.
WRITE SCRATCHPAD	0x4E	příkaz dovolí MCU zapsat 3 bajty do scratchpad paměti čidla; první byte je zapsán do registru TH (2. byte v paměti), druhý byte do registru TL (byte 3) a třetí do konfiguračního registru (byte 4)
READ POWER SUPPLY	0xB4	MCU vyšle tento příkaz pro určení druhu napájení čidla. To zjistíme tak, že po vyslání příkazu READ POWER SUPPLY vyšle MCU „čtecí časový úsek“ – při parazitním napájení bude tento úsek v log.0 a při externím napájení bude log.1.
RECALL EEPROM	0xB8	příkaz vyvolá hodnoty TH, TL a konfigurační registr z EEPROM čidla a uloží je na místa bajtů 2, 3, a 4 v paměti scratchpad; MCU může po příkazu RECALL EEPROM vysílat „čtecí časové úseky“ a teplotní čidlo bude odpovídat log.0, pokud bude proces probíhat a log.1, pokud bude proces dokončen; tento příkaz proběhne automaticky po zapnutí napájení, aby byly připraveny pro práci aktuální data
READ SCRATCHPAD	0xBE	příkaz dovolí MCU číst obsah paměti scratchpad; přenášená data se začínají číst od LSB byte 0 a pokračují až po poslední byte (byte 8 – CRC)

Příloha F – Modul KEY1, schéma + DPS

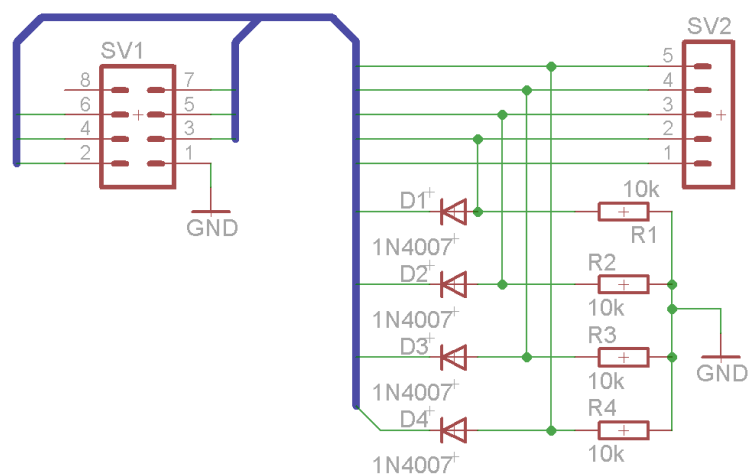
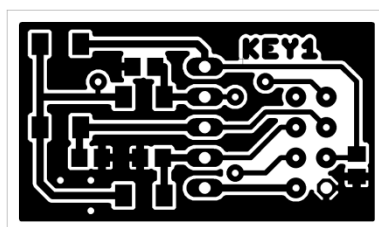
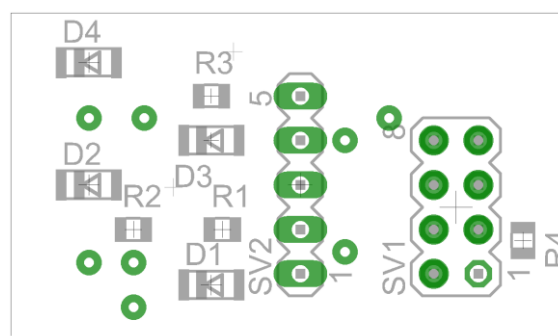


schéma modulu KEY1

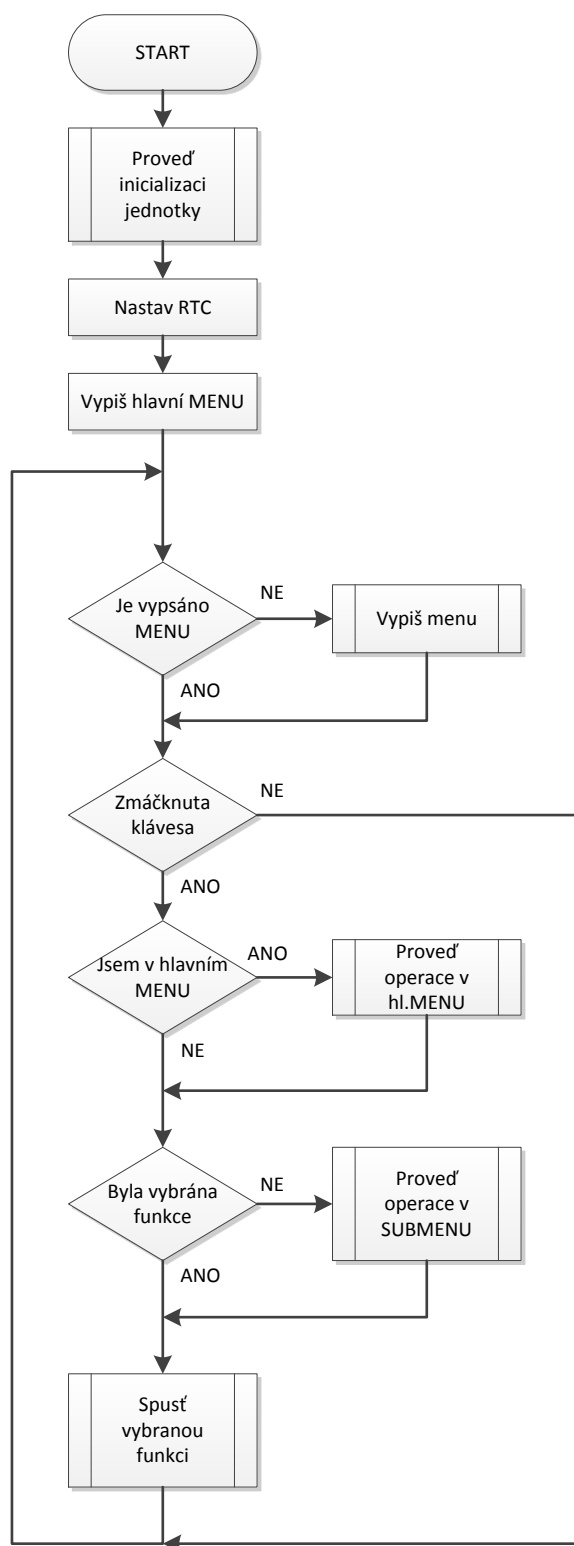


KEY1 - DPS



osazení modulu KEY1 součástkami

Příloha G – Vývojový diagram hlavního programu



Příloha H – Naměřené hodnoty

V této příloze jsou prezentovány hodnoty, které zaznamenala během zkušebního provozu. Tabulky jsou převedeny z vytvořených csv souborů

datum	cas	teplota	CO	CH4	Ubat
30.4.2014	11:51:40	25.31	169	27	11.31
30.4.2014	12:06:53	26.50	26	16	11.31
30.4.2014	12:21:53	27.18	26	11	11.31
30.4.2014	12:36:53	27.56	26	11	11.31
30.4.2014	12:51:53	27.81	25	11	11.31
30.4.2014	13:06:53	28.6	24	18	11.31
30.4.2014	13:21:53	28.43	25	12	11.29
30.4.2014	13:36:53	28.68	25	9	11.31
30.4.2014	13:51:53	28.93	26	10	11.31
30.4.2014	14:06:53	28.93	25	10	11.31
30.4.2014	14:21:53	28.93	26	9	11.31
30.4.2014	14:36:53	28.87	26	9	11.31
30.4.2014	14:51:53	28.93	26	8	11.31
30.4.2014	15:06:53	28.68	26	8	11.31
30.4.2014	15:21:53	28.75	26	7	11.31
30.4.2014	15:36:53	28.87	26	7	11.31
30.4.2014	15:51:53	29.18	26	8	11.31
30.4.2014	16:06:53	29.43	27	7	11.31
30.4.2014	16:21:53	29.56	27	7	11.31
30.4.2014	16:36:53	29.68	28	7	11.29
30.4.2014	16:51:53	29.81	28	7	11.31
30.4.2014	17:06:53	29.81	28	7	11.29
30.4.2014	17:21:53	29.93	28	7	11.29
30.4.2014	17:36:53	30.6	28	7	11.29
30.4.2014	17:51:53	30.25	29	7	11.29
30.4.2014	18:06:53	30.25	29	8	11.29
30.4.2014	18:21:53	29.87	29	7	11.29
30.4.2014	18:36:53	29.50	28	7	11.31
30.4.2014	18:51:53	29.31	28	7	11.29
30.4.2014	19:06:53	29.6	28	7	11.29
30.4.2014	19:21:52	28.87	29	7	11.31
30.4.2014	19:36:53	28.93	29	7	11.29
30.4.2014	19:51:53	28.93	29	7	11.29
30.4.2014	20:06:53	28.81	29	7	11.29
30.4.2014	20:21:53	28.68	29	7	11.29
30.4.2014	20:36:53	28.81	30	8	11.29
30.4.2014	20:51:53	28.87	30	7	11.29
30.4.2014	21:06:53	28.93	30	7	11.29
30.4.2014	21:21:53	29.12	30	7	11.29
30.4.2014	21:36:53	29.25	31	7	11.29
30.4.2014	21:51:53	29.37	31	7	11.29
30.4.2014	22:06:53	29.43	31	8	11.29
30.4.2014	22:21:53	29.50	32	8	11.29
30.4.2014	22:36:53	29.50	32	8	11.28
30.4.2014	22:51:53	29.50	32	8	11.28
30.4.2014	23:06:52	29.50	32	8	11.28
30.4.2014	23:21:53	29.31	32	10	11.29
30.4.2014	23:36:53	28.68	32	8	11.28
30.4.2014	23:51:53	28.43	32	8	11.28

datum	cas	teplota	CO	CH4	Ubat
1.5.2014	0:06:53	28.37	32	8	11.28
1.5.2014	0:21:53	27.93	31	8	11.28
1.5.2014	0:36:52	27.31	31	8	11.28
1.5.2014	0:51:53	27.81	32	8	11.28
1.5.2014	1:06:53	28.18	32	7	11.28
1.5.2014	1:21:53	28.43	33	7	11.28
1.5.2014	1:36:53	28.62	33	7	11.28
1.5.2014	1:51:53	28.75	34	8	11.28
1.5.2014	2:06:53	28.81	34	7	11.28
1.5.2014	2:21:53	28.81	34	7	11.28
1.5.2014	2:36:53	28.87	34	7	11.28
1.5.2014	2:51:53	28.87	34	7	11.28
1.5.2014	3:06:53	28.93	35	7	11.28
1.5.2014	3:21:53	28.93	35	7	11.28
1.5.2014	3:36:53	29.00	34	7	11.28
1.5.2014	3:51:53	29.6	34	7	11.28
1.5.2014	4:06:53	29.12	35	7	11.27
1.5.2014	4:21:52	29.25	35	7	11.28
1.5.2014	4:36:53	29.31	35	7	11.27
1.5.2014	4:51:53	29.37	36	8	11.27
1.5.2014	5:06:53	29.31	35	7	11.27
1.5.2014	5:21:53	29.25	35	8	11.28
1.5.2014	5:36:53	29.18	35	7	11.27
1.5.2014	5:51:53	29.18	36	7	11.27
1.5.2014	6:06:53	28.75	36	7	11.27
1.5.2014	6:21:53	26.81	33	6	11.27
1.5.2014	6:36:53	25.62	32	6	11.28
1.5.2014	6:51:53	24.93	32	6	11.28
1.5.2014	7:06:53	24.43	31	7	11.28
1.5.2014	7:21:53	24.43	31	6	11.27
1.5.2014	7:36:53	24.87	32	7	11.27
1.5.2014	7:51:53	25.75	34	8	11.27
1.5.2014	8:06:52	26.56	34	7	11.27
1.5.2014	8:21:53	27.6	34	7	11.27
1.5.2014	8:36:53	27.37	35	8	11.27
1.5.2014	8:51:52	27.68	36	8	11.27
1.5.2014	9:06:53	27.93	36	7	11.27
1.5.2014	9:21:53	28.6	36	7	11.25
1.5.2014	9:36:53	28.12	36	7	11.27
1.5.2014	9:51:53	28.18	36	7	11.25
1.5.2014	10:06:53	28.31	36	7	11.25
1.5.2014	10:21:53	28.31	36	7	11.25
1.5.2014	10:36:53	28.37	37	7	11.25
1.5.2014	10:51:53	28.37	37	7	11.25
1.5.2014	11:06:53	28.37	37	7	11.25
1.5.2014	11:21:53	28.43	37	7	11.25
1.5.2014	11:36:53	28.12	36	6	11.25
1.5.2014	11:51:53	27.87	36	6	11.25
1.5.2014	12:06:53	27.93	37	7	11.25
1.5.2014	12:21:53	27.93	36	6	11.25
1.5.2014	12:36:52	27.87	36	5	11.25

datum	cas	teplota	CO	CH4	Ubat
1.5.2014	12:51:53	27.87	37	5	11.25
1.5.2014	13:06:53	27.81	36	5	11.25
1.5.2014	13:21:53	27.68	36	5	11.25
1.5.2014	13:36:53	27.68	37	6	11.25
1.5.2014	13:51:53	27.93	38	6	11.25
1.5.2014	14:06:53	28.6	37	6	11.25
1.5.2014	14:21:53	28.6	37	6	11.25
1.5.2014	14:36:53	28.18	38	5	11.25
1.5.2014	14:51:53	28.12	37	5	11.25
1.5.2014	15:06:53	28.00	37	5	11.25
1.5.2014	15:21:53	27.87	37	5	11.25
1.5.2014	15:36:52	27.81	38	5	11.25
1.5.2014	15:51:53	28.6	38	5	11.24
1.5.2014	16:06:53	28.18	38	6	11.24
1.5.2014	16:21:53	28.43	38	5	11.24
1.5.2014	16:36:53	28.50	38	5	11.24
1.5.2014	16:51:53	28.50	39	5	11.24
1.5.2014	17:06:53	28.56	39	5	11.24
1.5.2014	17:21:53	28.68	39	5	11.24
1.5.2014	17:36:53	29.00	39	5	11.24
1.5.2014	17:51:53	29.25	39	5	11.24
1.5.2014	18:06:53	29.18	39	6	11.24
1.5.2014	18:21:53	29.00	39	6	11.24
1.5.2014	18:36:53	28.81	39	5	11.24
1.5.2014	18:51:53	28.93	39	6	11.24
1.5.2014	19:06:53	29.25	39	6	11.24
1.5.2014	19:21:52	29.43	39	6	11.24
1.5.2014	19:36:53	29.31	39	6	11.24
1.5.2014	19:51:53	29.18	40	7	11.24
1.5.2014	20:06:53	29.18	40	8	11.24
1.5.2014	20:21:53	29.25	39	7	11.24
1.5.2014	20:36:53	29.18	39	7	11.24
1.5.2014	20:51:53	29.18	39	7	11.24
1.5.2014	21:06:53	29.18	40	6	11.24
1.5.2014	21:21:53	29.31	40	6	11.22
1.5.2014	21:36:53	29.37	40	7	11.22
1.5.2014	21:51:53	29.37	40	7	11.24
1.5.2014	22:06:53	29.31	40	7	11.22
1.5.2014	22:21:53	29.43	40	7	11.22
1.5.2014	22:36:53	29.50	40	7	11.22
1.5.2014	22:51:53	29.56	41	7	11.22
1.5.2014	23:06:53	29.62	41	7	11.22
1.5.2014	23:21:53	29.68	41	7	11.22
1.5.2014	23:36:53	29.68	41	7	11.22
1.5.2014	23:51:52	29.68	41	7	11.22

datum	cas	teplota	CO	CH4	Ubat
2.5.2014	0:06:53	29.56	41	7	11.22
2.5.2014	0:21:53	29.56	41	7	11.22
2.5.2014	0:36:53	29.50	41	7	11.22
2.5.2014	0:51:53	29.50	42	7	11.22
2.5.2014	1:06:53	29.43	42	7	11.22
2.5.2014	1:21:53	29.43	42	7	11.22
2.5.2014	1:36:53	29.43	41	7	11.22
2.5.2014	1:51:53	29.43	41	7	11.22
2.5.2014	2:06:53	29.43	41	7	11.22
2.5.2014	2:21:53	29.50	42	7	11.21
2.5.2014	2:36:53	29.56	42	7	11.21
2.5.2014	2:51:52	29.56	42	7	11.21
2.5.2014	3:06:53	29.56	42	7	11.21
2.5.2014	3:21:53	29.56	42	7	11.21
2.5.2014	3:36:53	29.56	42	7	11.21
2.5.2014	3:51:53	29.56	42	8	11.21
2.5.2014	4:06:53	29.62	42	8	11.21
2.5.2014	4:21:53	29.62	42	8	11.21
2.5.2014	4:36:53	29.62	42	7	11.21
2.5.2014	4:51:53	29.50	42	7	11.21
2.5.2014	5:06:53	29.43	42	7	11.21
2.5.2014	5:21:53	29.43	42	8	11.21
2.5.2014	5:36:53	29.37	44	7	11.21
2.5.2014	5:51:53	29.25	42	7	11.21
2.5.2014	6:06:53	29.12	42	7	11.21
2.5.2014	6:21:53	29.18	42	7	11.21
2.5.2014	6:36:52	29.31	43	7	11.21
2.5.2014	6:51:53	29.37	43	7	11.21
2.5.2014	7:06:53	29.43	43	7	11.21
2.5.2014	7:21:53	29.43	42	7	11.21
2.5.2014	7:36:53	29.18	41	7	11.21
2.5.2014	7:51:53	29.00	41	7	11.21
2.5.2014	8:06:53	28.93	42	7	11.19
2.5.2014	8:21:53	29.00	42	7	11.19
2.5.2014	8:36:53	29.00	42	7	11.19
2.5.2014	8:51:53	29.6	41	7	11.19
2.5.2014	9:06:53	29.12	42	7	11.19
2.5.2014	9:21:53	29.00	41	7	11.19
2.5.2014	9:36:53	28.87	42	7	11.19
2.5.2014	9:51:53	28.93	42	7	11.19
2.5.2014	10:06:53	28.93	42	7	11.19
2.5.2014	10:21:52	29.00	41	7	11.19
2.5.2014	10:36:53	29.6	41	7	11.19
2.5.2014	10:51:53	29.6	42	7	11.19
2.5.2014	11:06:53	29.12	42	7	11.19
2.5.2014	11:21:53	29.31	42	7	11.19
2.5.2014	11:36:53	29.37	42	7	11.19
2.5.2014	11:51:53	29.43	43	7	11.19
2.5.2014	12:06:53	29.50	43	7	11.19
2.5.2014	12:21:53	29.56	43	8	11.19
2.5.2014	12:36:53	29.43	43	7	11.18

datum	cas	teplota	CO	CH4	Ubat
2.5.2014	12:51:53	29.50	43	8	11.19
2.5.2014	13:06:53	29.62	43	8	11.18
2.5.2014	13:21:53	29.81	43	8	11.18
2.5.2014	13:36:53	29.93	43	8	11.18
2.5.2014	13:51:53	30.6	43	8	11.18
2.5.2014	14:06:52	30.00	43	8	11.18
2.5.2014	14:21:53	30.00	43	8	11.18
2.5.2014	14:36:53	29.93	43	7	11.18
2.5.2014	14:51:53	29.87	43	7	11.18
2.5.2014	15:06:53	29.81	43	7	11.18
2.5.2014	15:21:53	29.87	43	7	11.18
2.5.2014	15:36:53	29.81	43	7	11.18
2.5.2014	15:51:53	29.81	43	7	11.18
2.5.2014	16:06:53	29.81	43	7	11.18
2.5.2014	16:21:53	29.68	43	7	11.18
2.5.2014	16:36:53	29.68	43	7	11.18
2.5.2014	16:51:53	29.75	43	7	11.18
2.5.2014	17:06:53	29.81	43	7	11.18
2.5.2014	17:21:53	29.93	43	7	11.18
2.5.2014	17:36:53	30.00	43	7	11.18
2.5.2014	17:51:53	30.6	43	7	11.18
2.5.2014	18:06:53	29.93	42	7	11.16
2.5.2014	18:21:53	29.81	43	7	11.18
2.5.2014	18:36:52	29.75	43	7	11.16
2.5.2014	18:51:53	29.68	43	7	11.16
2.5.2014	19:06:53	29.62	42	7	11.16
2.5.2014	19:21:53	29.56	42	7	11.16
2.5.2014	19:36:53	29.43	42	6	11.16
2.5.2014	19:51:53	29.43	42	7	11.16
2.5.2014	20:06:53	29.31	42	6	11.16
2.5.2014	20:21:53	29.31	42	6	11.16
2.5.2014	20:36:53	29.18	42	6	11.16
2.5.2014	20:51:53	29.12	42	6	11.16
2.5.2014	21:06:53	29.6	41	6	11.16
2.5.2014	21:21:53	29.12	42	6	11.16
2.5.2014	21:36:53	29.12	42	6	11.16
2.5.2014	21:51:53	29.18	42	6	11.16
2.5.2014	22:06:53	29.25	42	6	11.16
2.5.2014	22:21:52	29.31	42	7	11.16
2.5.2014	22:36:53	29.31	42	7	11.16
2.5.2014	22:51:53	29.37	42	7	11.16
2.5.2014	23:06:53	29.37	42	7	11.16
2.5.2014	23:21:53	29.43	42	7	11.16
2.5.2014	23:36:53	29.43	42	6	11.16
2.5.2014	23:51:53	29.37	42	6	11.15

datum	cas	teplota	CO	CH4	Ubat
3.5.2014	0:06:53	29.31	42	6	11.15
3.5.2014	0:21:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	0:36:52	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	0:51:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	1:06:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	1:21:52	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	1:36:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	1:51:53	29.18	42	6	11.15
3.5.2014	2:06:53	29.18	42	6	11.15
3.5.2014	2:21:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	2:36:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	2:51:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	3:06:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	3:21:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	3:36:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	3:51:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	4:06:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	4:21:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	4:36:53	29.25	42	6	11.15
3.5.2014	4:51:53	29.18	42	6	11.13
3.5.2014	5:06:52	29.00	42	6	11.13
3.5.2014	5:21:53	28.93	43	6	11.13
3.5.2014	5:36:53	28.93	42	6	11.13
3.5.2014	5:51:53	28.87	42	6	11.13
3.5.2014	6:06:53	28.87	42	6	11.13
3.5.2014	6:21:53	28.81	42	6	11.13
3.5.2014	6:36:53	28.75	42	5	11.13
3.5.2014	6:51:53	28.68	42	5	11.13
3.5.2014	7:06:53	28.68	42	5	11.13
3.5.2014	7:21:53	28.62	42	5	11.13
3.5.2014	7:36:53	28.62	42	5	11.13
3.5.2014	7:51:53	28.62	42	6	11.13
3.5.2014	8:06:53	28.50	42	6	11.13
3.5.2014	8:21:53	28.56	42	6	11.13
3.5.2014	8:36:53	28.62	42	6	11.13
3.5.2014	8:51:52	28.68	42	6	11.13
3.5.2014	9:06:53	28.75	42	6	11.13
3.5.2014	9:21:53	28.75	42	6	11.12
3.5.2014	9:36:53	28.81	43	6	11.13
3.5.2014	9:51:53	28.81	43	6	11.12
3.5.2014	10:06:53	28.81	43	6	11.12
3.5.2014	10:21:53	28.87	43	6	11.12
3.5.2014	10:36:53	28.87	43	6	11.12
3.5.2014	10:51:53	28.87	43	6	11.12
3.5.2014	11:06:53	28.87	43	6	11.12
3.5.2014	11:21:53	28.93	43	6	11.12
3.5.2014	11:36:53	28.87	43	6	11.12
3.5.2014	11:51:53	28.81	42	6	11.12
3.5.2014	12:06:53	28.75	42	6	11.12
3.5.2014	12:21:53	28.75	42	6	11.12
3.5.2014	12:36:52	28.62	42	5	11.12

datum	cas	teplota	CO	CH4	Ubat
3.5.2014	12:51:53	28.56	42	6	11.12
3.5.2014	13:06:53	28.56	42	6	11.12
3.5.2014	13:21:53	28.43	42	6	11.12
3.5.2014	13:36:53	28.31	41	6	11.12
3.5.2014	13:51:53	28.25	42	6	11.12
3.5.2014	14:06:53	28.37	42	6	11.10
3.5.2014	14:21:53	28.50	43	6	11.12
3.5.2014	14:36:53	28.56	43	6	11.12
3.5.2014	14:51:53	28.62	43	6	11.10
3.5.2014	15:06:53	28.68	43	6	11.10

Příloha I – Grafy měření

